

안전분야-기술자료
부산본부 2010-39-948

관리감독자 실무교육

KOSHA

불활성가스 기술자료

2010. 11.



한국산업안전보건공단
부산지역본부

목 차

■ 불활성가스의 정의	1
■ 불활성가스의 위험성	1
■ 아르곤가스의 특성 및 사용처	1
■ 질식 재해분석	2
■ 재해예방대책	4
■ 중대재해사례	5
■ 부임 1. 관련법령	8
■ 부임 2. 밀폐공간작업프로그램 작성예시	11
■ 부임 3. KOSHA CODE P-40-2001 불활성가스 치환에 관한 기술지침	37

■ 불활성가스(Inert Gas)의 정의

불활성가스는 주기율표상(장주기형 주기율표)의 18족에 해당하는 가스상의 물질로 다른 원소와 반응을 하지 않는 물질이다. 불활성가스로는 헬륨(He, 원자번호 2), 네온(Ne, 원자번호 10), 아르곤(Ar, 원자번호 18), 크립톤(Kr, 원자번호 36), 크세논(Xe, 원자번호 54), 라돈(Rn, 원자번호 86)이 있다.

이중 조선소에서 주로 사용하는 불활성가스인 아르곤가스는 대기중에 약 0.93%가 함유되어 있으며, 용접 및 절단에 사용한다.

■ 불활성가스의 위험성

불활성가스는 다른 원소와 반응을 하지 않아 불활성가스 자체적으로는 다른 원소에 비하여 취급이 용이하고 안전하다.

불활성가스중 사업장에서 주로 많이 사용하는 아르곤가스는 공기보다 무거워 밀폐공간에서 사용중 누출시 작업자가 질식할 수 있어 매우 위험한 가스이다. 따라서 사업장에서는 아르곤가스를 밀폐공간에서 사용시에는 산업안전보건규칙 ‘제11장 밀폐공간 작업으로 인한 건강장해의 예방’에 따라 조치를 취한 후 안전하게 작업할 수 있도록 하여야 한다.

* 불임1의 산업보건기준에 관한 규칙 참조

■ 아르곤가스의 특성 및 사용처

아르곤가스의 분자량은 39.95로 공기의 분자량 28.8보다 무거우며, 비중은 공기를 1로 볼때 1.35정도이다.

따라서 아르곤 가스는 누출시 바닥에 잔류하는 특성이 있다.

특히 아르곤가스는 1원자 물질로 고온에서도 안정하다. 따라서 고온에서의 불활성가스가 요구되는 곳에 많이 사용된다. 철강 제도시 고급제련강을 제조하는 경우에 주로 쓰이며, 그 외에도 TIG용접, MIG용접시에도 불활성가스로 사용된다.(가운데 I는 Inert를 의미함.) 또한 네온과 함께 PDP (플라즈마 액정 표시장치)의 내부에 플라즈마 형성을 위해 사용되고, 백열등 내부에서 텅스텐 전극이 산화되지 않도록 하기 위한 충전가스로도 사용된다. 한편 최근 반도체, LCD 제조의 90nm 이하의 공정에서 ArF(플로오르화 아르곤) 포토레지스트(photoresist) 및 광원제조에 사용되기도 한다.

■ 질식 재해분석

- 전업종

구 분	계	2006	2007	2008	2009	2010.9
계	87	6	16	13	27	25
부상자수	28	3	2	4	12	7
사망자수	59	3	14	9	15	18

- 조선업종

구 분	계	2006	2007	2008	2009	2010.9
계	7	2	1	1	0	3
부상자수	1	0	0	1	0	0
사망자수	6	2	1	0	0	3

질식재해는 불활성가스, 질소, 기타 탄화수소화합물등에 의해 발생하는데, 질식은 주로 불활성가스나 질소에 의해 발생하고 있으며, 탄화수소화합물에 의한 질식은 거의 발생하지 않는다.

2006~2010.9까지의 질식재해를 분석하여 보면 전산업에서 28명의 재해자와 59명의 사망자가 발생하여 사망자의 비율이 67.8%로 질식 사고가 발생시에는 사망율이 다른 사고에 비하여 높다는 것을 알 수 있다. 특히 조선업종에서는 총 7명의 재해자가 발생하였으며 이중 사망비율은 85.7%로 타 업종에 비하여 사고 발생시 사망율이 높다는 것을 알 수 있다.

조선업종에서 이처럼 치사율이 높은 이유는 조선업종의 작업특성상 밀폐공간 작업시 작업안전수칙 미준수 등에 의한 사망율이 높은 것으로 보인다.

■ 재해예방대책

- 안전작업표준절차 작성 및 준수
 - 불활성가스를 사용하는 작업에 대하여 안전작업표준절차를 작성하고 절차를 준수하도록 지도 감독
- 작업시작전 산소농도측정
 - 작업시작전 산소농도를 측정하여 산소농도가 18%이상일 경우에만 작업 실시
- 밀폐공간작업프로그램 작성 및 시행
 - 산업보건기준에 관한 규칙 제230조에 따라 밀폐공간 작업시에는 밀폐공간작업프로그램을 작성하여 시행
- 안전보건교육실시 철저
 - 산소결핍의 가능성이 있는 장소의 당해 작업자에게는 작업 시작전 불활성가스에 대한 유해·위험성과 관련하여 질식위험성에 대한 교육 실시

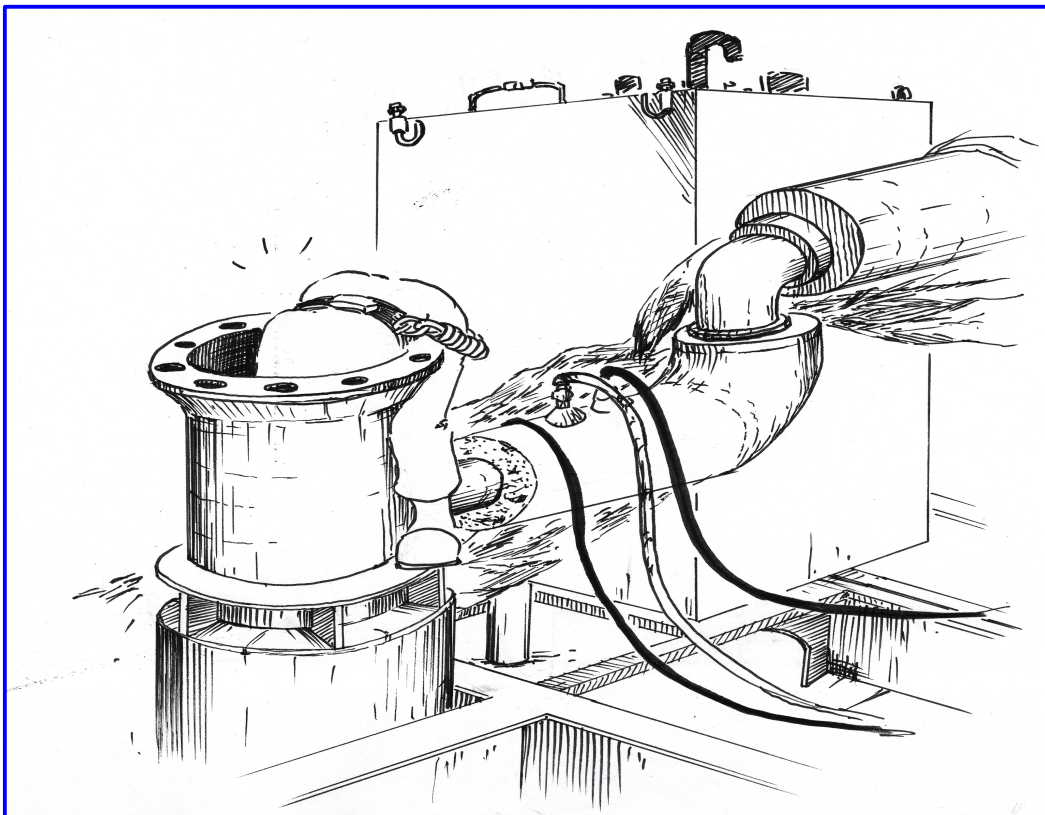
■ 중대재해사례 1

아르곤 용접작업 중 가스흡입으로 인한 질식

재 해 개 요

2007년 9월 7일(금) 11:55경 경남 거제시 소재 ○○중공업(주) 내 안벽에서 건조중인 LNG호선의 갑판 상부에서 협력사 소속의 재해자가 아르곤가스를 사용하여 용접작업 후 파이프 내부의 용접비드를 확인하기 위해 가스가 채류된 파이프 내부를 들여다 보다 가스흡입으로 쓰러져 파이프 상부에 몸체가 걸려져 있는 것을 동료작업자가 발견하여 병원으로 후송하였으나 9월 11일 사망한 사고임.

재 해 상 황 도





재해발생원인

○ 안전작업절차 미준수

- 아르곤가스의 유해성을 인식하지 못하여 메니폴더로부터 유입되는 아르곤가스를 차단하지 않고 용접상태를 확인하였으며,
- 또한, 주배관에 정체된(잔류된) 아르곤 가스를 충분히 환기하지 않은 상태에서 사용.

○ 환기가 불충분한 장소에서의 작업

- 밀폐공간 또는 환기가 불충분한 장소에 근로자를 종사하도록 하는 때에는 미리 산소농도 등을 측정하고, 적절한 공기가 유지되고 있는지 여부를 평가하여야 하나 작업시작 전 산소농도를 측정하지 않았음.
- 또한, 작업시작 전(용접상태 확인을 위한 주배관 내부에 상체가 들어가기 전)에 적절한 공기상태로 유지되도록 환기시키거나, 근로자에게 송기마스크 등을 지급하여 착용하도록 하여야하나 실시하지 않았음.

○ 안전보건교육 실시 미흡

- 아르곤 가스에 의해 산소결핍의 가능성이 있는 장소의 당해작업자에 대한 작업시작 전 아르곤의 유해·위험성과 관련하여 질식위험성에 대한 교육실시가 미흡하였음.



재해예방대책

○ 안전작업표준절차 작성 및 철저한 준수

- 아르곤 파이프 용접에 관한 상황별 안전작업표준절차를 작성하고, 작업표준절차가 철저히 준수될 수 있도록 교육 및 관리를 강화

○ 환기가 충분한 상태에서 작업실시

- 밀폐공간 또는 환기가 불충분한 장소에서 근로자를 종사하도록 하는 때에는 미리 산소농도 등을 측정하고, 적절한 공기가 유지되고 있는지 여부를 철저히 확인한 후 적절한 공기상태로 유지되도록 환기시키거나 근로자에게 송기마스크 등을 지급하여 착용하도록 조치

○ 안전보건교육 실시 철저

- 아르곤 가스에 의해 산소결핍의 가능성이 있는 장소의 당해 작업자에게는 작업시작 전 아르곤의 유해·위험성과 관련하여 질식위험성에 대한 교육을 철저히 실시하여야 함.

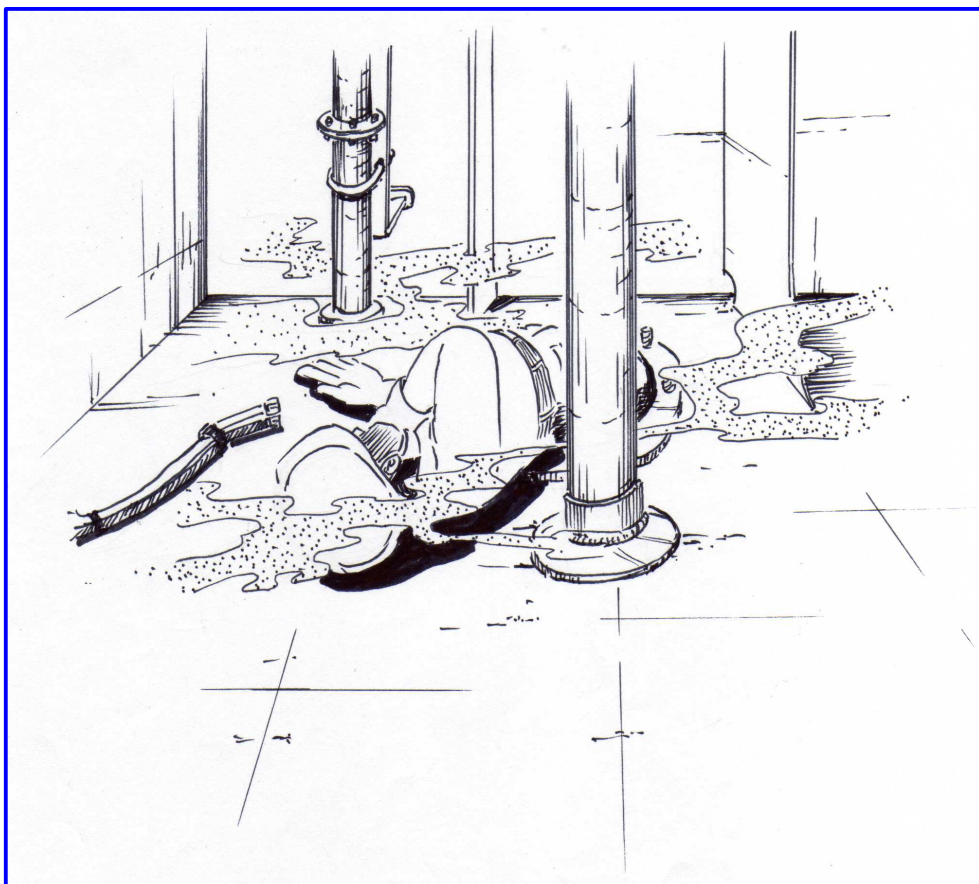
■ 중대재해사례 2

TIG용접을 위한 아르곤 퍼지작업중 질식

재 해 개 요

2009년 1월 15일(목) 경남 거제시 소재 조선소 내 LNG선 코퍼담(화물창과 화물창 사이의 빈공간) 내부에 질소용 배관의 TIG용접을 하기 위해 코퍼담 하부(Sump well)에 들어가 퍼지를 위한 아르곤 호스를 내부 배관에 연결하다가 누출된 아르곤 가스에 질식되어 사망한 재해임.

재 해 상 황 도





재해발생원인

○ 표준안전작업절차 미준수

- 퍼지를 위한 아르곤 가스니플을 주입하는 과정에서 기존의 공급되고 있는 아르곤 가스를 차단하지 않고 밀봉을 뜯어내 가스가 누출되었으며,
- 작업 전 코퍼담 하부(Sump well)에 Air Ejector를 설치하지 않아 누출된 아르곤 가스가 밖으로 배출되지 않았음.

○ 밀폐공간 보건작업 프로그램 시행 미실시

- LNG선 화물창내 코퍼담 내부의 Sump Well 부근은 밀폐공간 또는 환기가 불충분한 작업장소로써 작업시작전 미리 산소농도를 측정하고 적절한 공기가 유지되고 있는지 확인하여야 하나 산소농도를 측정하지 않았음.
- 또한 Sump Well 배관 끝단부의 아르곤 퍼지를 위한 니플을 주입할 때, 근로자에게 송기마스크 등을 지급하여 착용하도록 하여야 하나 실시하지 않았음.



재해예방대책

○ 표준 안전작업절차서 준수 철저

- 아르곤 가스 퍼지 작업 시 2벌의 아르곤 가스호스를 배관에 주입할 경우 반드시 2벌을 동시에 배관에 주입하여 밀봉을 확실히 한 후 가스를 공급하여 아르곤 가스가 새어나오지 않도록 하여야 하며,
- 용접작업 전 Sump Well에 Air Ejector를 설치하여 누출될 수 있는 아르곤가스를 밖으로 배출하여야 하며, 작업이 완료되면 배기팬 및 Air Ejector로 배관내에 있는 아르곤 가스를 완전히 배출시켜 산소농도 등 공기 상태를 확인하여야 함.

○ 밀폐공간 보건 작업프로그램 시행 철저

- LNG선내 코퍼담 내부와 같은 밀폐공간 또는 환기가 불충분한 장소에 근로자를 종사하도록 하는 때는 미리 산소농도 등을 측정하고, 적절한 공기가 유지되고 있는지 여부를 철저히 확인하여야 함.
- 또한 Sump Well 하부에서 퍼지작업을 위한 아르곤 니플 주입시 잔존한 가스 등의 누설을 대비하여 근로자에게 송기마스크 등을 지급하여 착용하도록 조치하여야 함.

붙임 1. 관련법령(산업보건기준에 관한 규칙)

제11장 밀폐공간 작업으로 인한 건강장해의 예방

제1절 통칙

제229조(정의) 이 장에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “밀폐공간”이란 산소결핍, 유해가스로 인한 화재·폭발 등의 위험이 있는 장소로서 [별표 7](#)에서 정한 장소를 말한다.
2. “유해가스”란 밀폐공간에서 탄산가스·황화수소 등의 유해물질이 가스 상태로 공기 중에 발생하는 것을 말한다.
3. “적정공기”란 산소농도의 범위가 18퍼센트 이상 23.5퍼센트 미만, 탄산가스의 농도가 1.5퍼센트 미만, 황화수소의 농도가 10피피엠 미만인 수준의 공기를 말한다.
4. “산소결핍”이란 공기 중의 산소농도가 18퍼센트 미만인 상태를 말한다.
5. “산소결핍증”이란 산소가 결핍된 공기를 들이마심으로써 생기는 증상을 말한다.

제2절 밀폐공간 내 작업 시의 조치 등

제230조(밀폐공간 보건작업 프로그램 수립·시행 등) 사업주는 [별표 7](#)의 밀폐공간에 근로자를 종사하도록 하는 경우에 다음 각 호의 내용이 포함된 밀폐공간 보건작업 프로그램을 수립하여 시행하여야 한다.

1. 작업 시작 전 공기 상태가 적정한지를 확인하기 위한 측정·평가
2. 응급조치 등 안전보건 교육 및 훈련
3. 공기호흡기나 송기마스크 등(이하 이 장에서 “송기마스크등”이라 한다)의 착용과 관리
4. 그 밖에 밀폐공간 작업근로자의 건강장해 예방에 관한 사항

제231조(환기 등) 사업주는 밀폐공간에 근로자를 종사하도록 하는 경우에 작업 시작 전 및 작업 중에 해당 작업장을 적정공기 상태가 유지되도록 환기하여야 한다. 다만, 폭발이나 산화 등의 위험으로 인하여 환기할 수 없거나 작업의 성질상 환기하기가 매우 곤란하여 근로자에게 송기마스크등을 지급하여 착용하도록 하는 경우에는 그러하지 아니하다.

제232조(인원의 점검) 사업주는 밀폐공간에 근로자를 종사하도록 하는 경우에는 그 장소에 근로자를 입장시킬 때와 퇴장시킬 때마다 인원을 점검하여야 한다.

제233조(출입의 금지) ① 사업주는 밀폐공간에서 하는 작업에 근로자를 종사하도록 하는 경우에는 그 밀폐공간에서 작업하는 근로자가 아닌 사람이 그 장소에 출입하는 것을 금지하고, 그 내용을 보기 쉬운 장소에 게시하여야 한다.

② 근로자는 제1항에 따라 출입이 금지된 장소에 사업주의 허락 없이 출입하여서는 아니 된다.

제234조(연락) 사업주는 밀폐공간에 근로자를 종사하도록 하는 경우에는 그 작업장과 외부의 감시인 간에 상시 연락을 취할 수 있는 설비를 설치하여야 한다.

제235조(사고 시의 대피 등) ① 사업주는 밀폐공간에 근로자를 종사하도록 하는 경우에 산소결핍이 우려되거나 유해가스 등의 농도가 높아서 폭발할 우려가 있으면 즉시 작업을 중단시키고 해당 근로자를 대피하도록 하여야 한다.

② 제1항에 따라 근로자를 대피시킨 경우 적정공기 상태임을 확인할 때까지는 그 장소에 관계자가 아닌 사람이 출입하는 것을 금지하고, 그 내용을 보기 쉬운 장소에 게시하여야 한다.

③ 근로자는 제2항에 따라 출입이 금지된 장소에 사업주의 허락 없이 출입하여서는 아니 된다.

제236조(대피용 기구의 비치) 사업주는 밀폐공간에 근로자를 종사하도록 하는 경우에 송기마스크등, 사다리 및 섬유로프 등 비상시에 근로자를 피난시키거나 구출하기 위하여 필요한 기구를 갖추어 두어야 한다.

제237조(구출 시 송기마스크등의 사용) ① 사업주는 밀폐공간에서 위급한 근로자를 구출하는 작업에 근로자를 종사하도록 하는 경우에 그 구출작업에 종사하는 근로자에게 송기마스크등을 지급하여 착용하도록 하여야 한다.

② 근로자는 제1항에 따라 지급된 보호구를 사업주의 지시에 따라 착용하여야 한다.

산업보건에관한규칙 [별표 7] 밀폐공간(제229조제1호 관련)

1. 다음의 지층에 접하거나 통하는 우물·수직갱·터널·잠함·핏트 그밖에 이와 유사한 것의 내부
 - 가. 상층에 물이 통과하지 아니하는 지층이 있는 역암층 중 함수 또는 용수가 없거나 적은 부분
 - 나. 제1철 염류 또는 제1망간 염류를 함유하는 지층
 - 다. 메탄·에탄 또는 부탄을 함유하는 지층
 - 라. 탄산수를 용출하고 있거나 용출할 우려가 있는 지층
2. 장기간 사용하지 아니한 우물 등의 내부
3. 케이블·가스관 또는 지하에 부설되어 있는 매설물을 수용하기 위하여 지하에 부설한 암거·맨홀 또는 핏트의 내부
4. 빗물·하천의 우수 또는 용수가 있거나 있었던 통·암거·맨홀 또는 핏트의 내부
5. 바닷물이 있거나 있었던 열교환기·관·암거·맨홀·뚝 또는 핏트의 내부
6. 장기간 밀폐된 강재(鋼材)의 보일러·탱크·반응탑 그 밖에 그 내벽이 산화하기 쉬운 시설(그 내벽이 스테인리스강으로 된 것 또는 그 내벽의 산화를 방지하기 위하여 필요한 조치가 되어 있는 것은 제외한다)의 내부

7. 석탄·아탄·황화광·강재·원목·건성유(乾性油)·어유(魚油) 그 밖의 공기 중의 산소를 흡수하는 물질이 들어 있는 탱크 또는 호퍼(hopper) 등의 저장시설이나 선창의 내부
8. 천장·바닥 또는 벽이 건성유를 함유하는 페인트로 도장되어 그 페인트가 건조되기 전에 밀폐된 지하실·창고 또는 탱크 등 통풍이 불충분한 시설의 내부
9. 곡물 또는 사료의 저장용 창고 또는 핏트의 내부, 과일의 숙성용 창고 또는 핏트의 내부, 종자의 발아용 창고 또는 핏트의 내부, 버섯류의 재배를 위하여 사용하고 있는 사일로(silo) 그 밖의 곡물 또는 사료종자를 적재한 선창의 내부
10. 간장·주류·효모 그 밖에 발효하는 물품이 들어 있거나 들어 있었던 탱크·창고 또는 양조주의 내부
11. 분뇨·오염된 흙·썩은 물·폐수·오수 그 밖에 부패하거나 분해되기 쉬운 물질이 들어있는 정화조·침전조·집수조·탱크·암거·맨홀·관 또는 핏트의 내부
12. 드라이아이스를 사용하는 냉장고·냉동고·냉동화물자동차 또는 냉동컨테이너의 내부
13. 헬륨·아르곤·질소·프레온·탄산가스 또는 그 밖의 불활성기체가 들어 있거나 있었던 보일러·탱크 또는 반응탑 등 시설의 내부
14. 산소농도가 18퍼센트 미만 23.5퍼센트 이상, 탄산가스농도가 1.5퍼센트 이상, 황화수소농도가 10피피엠(ppm) 이상인 장소의 내부
15. 갈탄·목탄·연탄난로를 사용하는 콘크리트 양생장소(養生場所) 및 가설숙소 내부
16. 화학물질이 들어있던 반응기 및 탱크의 내부
17. 유해가스가 들어있던 배관이나 집진기의 내부

붙임 2. 밀폐공간보건작업 프로그램 작성예시

밀폐공간보건작업 프로그램

(작 성 예 시)

20 . .

(주)○○○○

1. 목 적

동 프로그램은 산업보건기준에 관한 규칙(이하 “보건규칙”이라 한다) 제230조 규정에 의한 밀폐공간보건작업 프로그램(이하 “프로그램”이라 한다)으로서, 밀폐공간 작업 시 산소결핍 또는 유해가스로 인한 질식재해를 예방하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 밀폐공간 작업장소

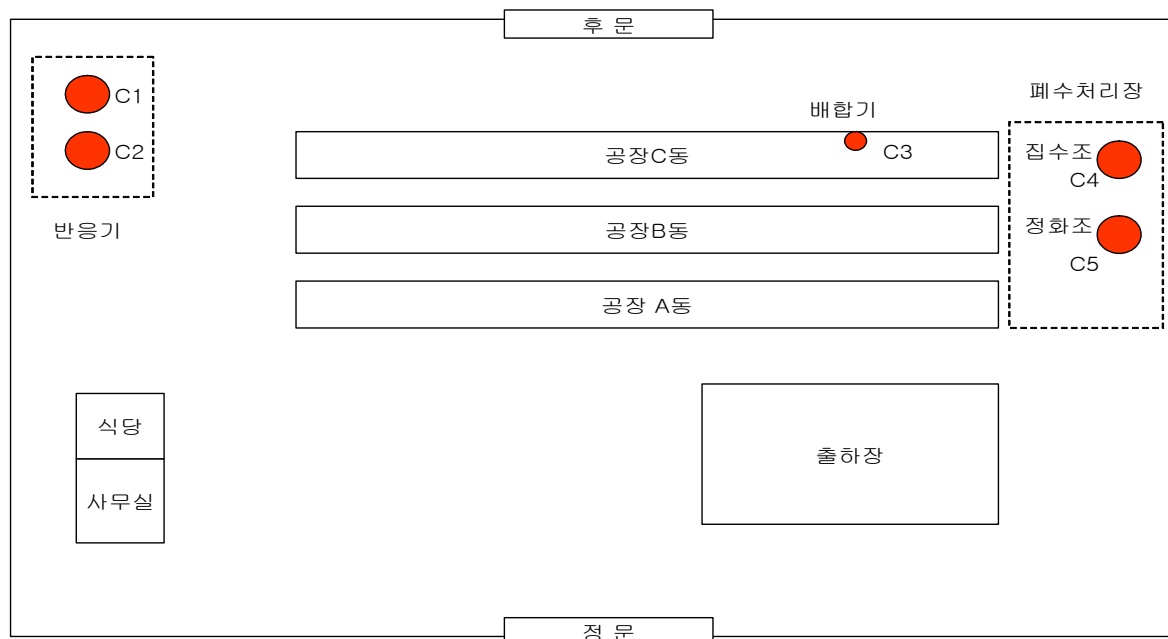
우리 회사에서 보유하고 있는 밀폐공간작업장소는 아래와 같다.

연번	공정명	작업장소		작업내용	작업주기 (작업빈도)	근로자수	비고
		명칭	특이사항				
1							
2							
3							

※ 사업장 업무와 관련하여 수행하는 작업장소 중 보건규칙 별표3[별첨1]의 밀폐공간에 해당하는 작업장소 모두 작성

※ 특이사항 : 작업장소 규격, 사용유해가스, 잔재물 등 특이사항 기록

<밀폐공간 작업장소 위치도>



※ 밀폐공간 작업장소 위치도는 해당 사업장에서 작성하고, 맨홀 등 거리에서 이루어지는 작업에 대해서는 소재지 등의 위치를 별도로 작성하여 관리

3. 재해현황

[산업재해 및 산소결핍 등의 질식재해 통계]

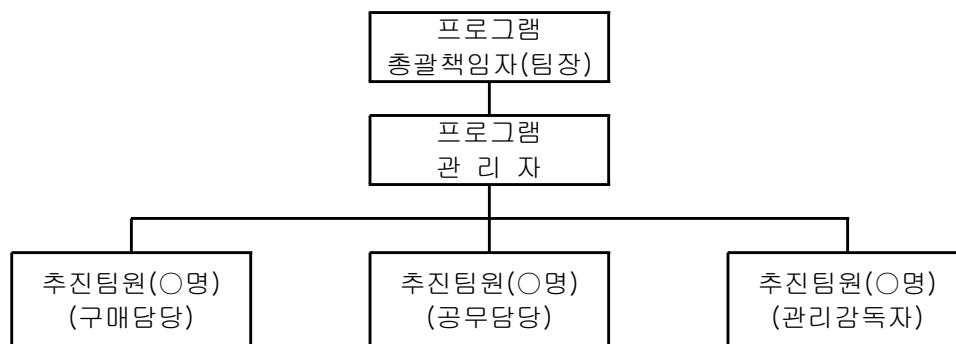
(단위 : 명)

년 도		계	20 년	20 년	20 년	20 년 월
근로자 수						
재해자수						
산소결핍 등 질식 재해자수	사 망					
	부 상					

※ 사업장의 최근 3년간 전체 재해현황 및 산소결핍 또는 유해가스로 인한 질식재해 현황작성

4. 조직 및 운영

프로그램 수립·시행을 위한 추진팀은 총 〇〇명으로 하고, 아래 조직도와 같이 구성하여 운영한다.



가. 프로그램 추진팀의 구성대상

우리 사업장의 프로그램 추진팀원은 아래의 대상에서 선발하여 구성한다.

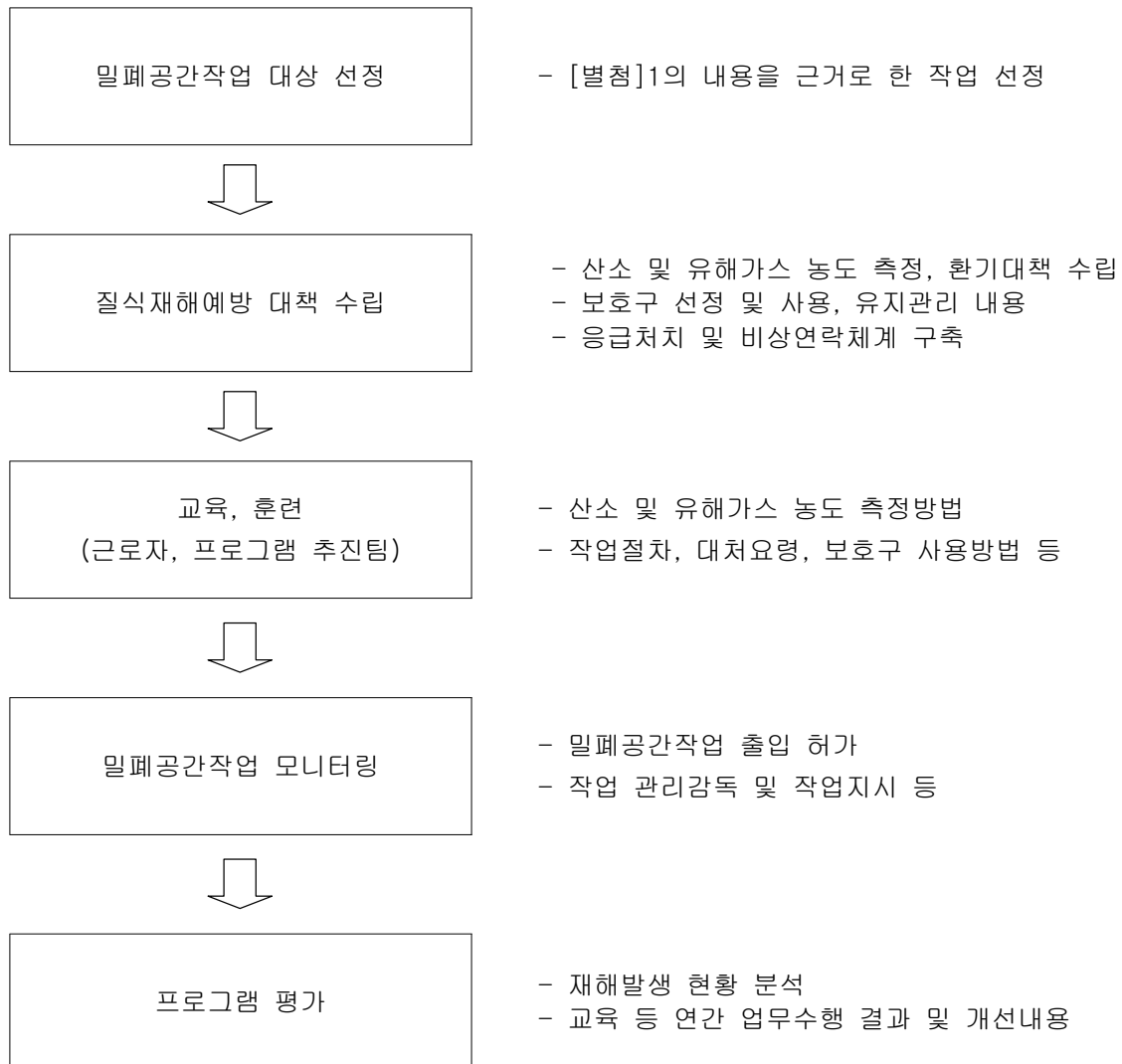
- ① 해당공정(작업)별 작업자 대표
- ② 명예산업안전감독관
- ③ 보건·안전관리자
- ④ 공정책임자
- ⑤ 공장장
- ⑥ 경리과장(예산결정권자), 구매과장, 공무과장(정비보수담당)
- ⑦ 기타 밀폐공간작업 관련업무 수행자 등

나. 프로그램 추진팀 역할

추진팀에서는 다음과 같은 사항을 수립하고 시행한다.

- ① 프로그램의 수립 및 수정에 관한 사항 결정
- ② 교육 및 훈련에 관한 사항을 결정하고 실행
- ③ 밀폐공간작업계획의 수립 및 시행에 관한 사항을 결정하고 실행
- ④ 밀폐공간작업 허가증 등 발급 및 작업 지시·감독 업무 수행
- ⑤ 공기호흡기 등 보호구의 선정, 사용 및 유지관리

다. 프로그램 추진절차



라. 프로그램 추진일정

세부 추진 내용	20 년도 월별 추진일정											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ 프로그램 추진팀 구성												
○ 밀폐공간작업 대상 선정												
○ 질식재해 예방대책 수립												
○ 작업자 교육·훈련 실시												
○ 밀폐공간작업 모니터링 실시												
○ 프로그램 평가												

5. 밀폐공간 작업허가

가. 밀폐공간에의 출입금지

- 1) 밀폐공간내로의 출입은 가능한한 금지하고, 출입을 해야 할 경우에는 추진팀 (담당부서)에서 작업허가를 득한 후 출입하도록 한다.
- 2) 우리 회사에 보유하고 있는 밀폐공간 작업장소를 작업특성상 출입해야하는 경우와 출입하지 않고 외부에서 작업해야 하는 경우를 구분하면 다음과 같다.

출입이 필요한 밀폐공간 작업			출입없이 밀폐공간 외부에서 가능한 작업	
작업명	위치	작업중 유해가스 계속발생 여부	작업명	위치

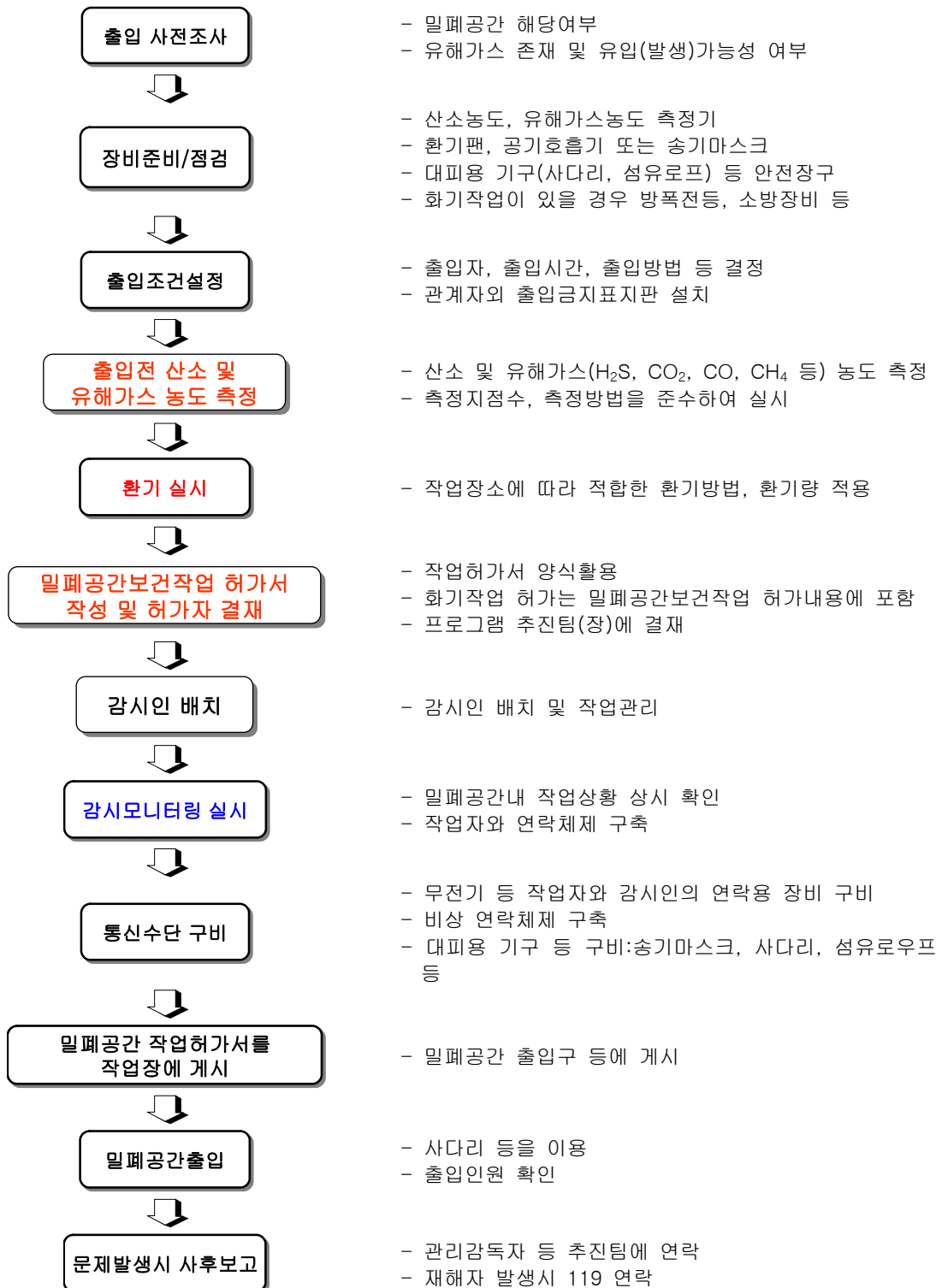
※ 기 분류한 “2. 밀폐공간 작업장소” 내용을 근거로 작업특성상 밀폐공간내에서 작업해야 하는 경우와 밀폐공간 외부에서 작업해도 되는 경우를 구분할 것

※ 작업중 유해가스가 계속 발생할 가능성이 있는 작업의 경우

☞ 양수작업, 콘크리트 양생작업, 슬러지 제거작업 등

나. 밀폐공간작업 기본 작업절차

밀폐공간작업시 아래의 기본 작업절차를 준수하고, 관리감독자는 작업자들이 기본 작업절차를 숙지하여 시행하도록 교육한다.



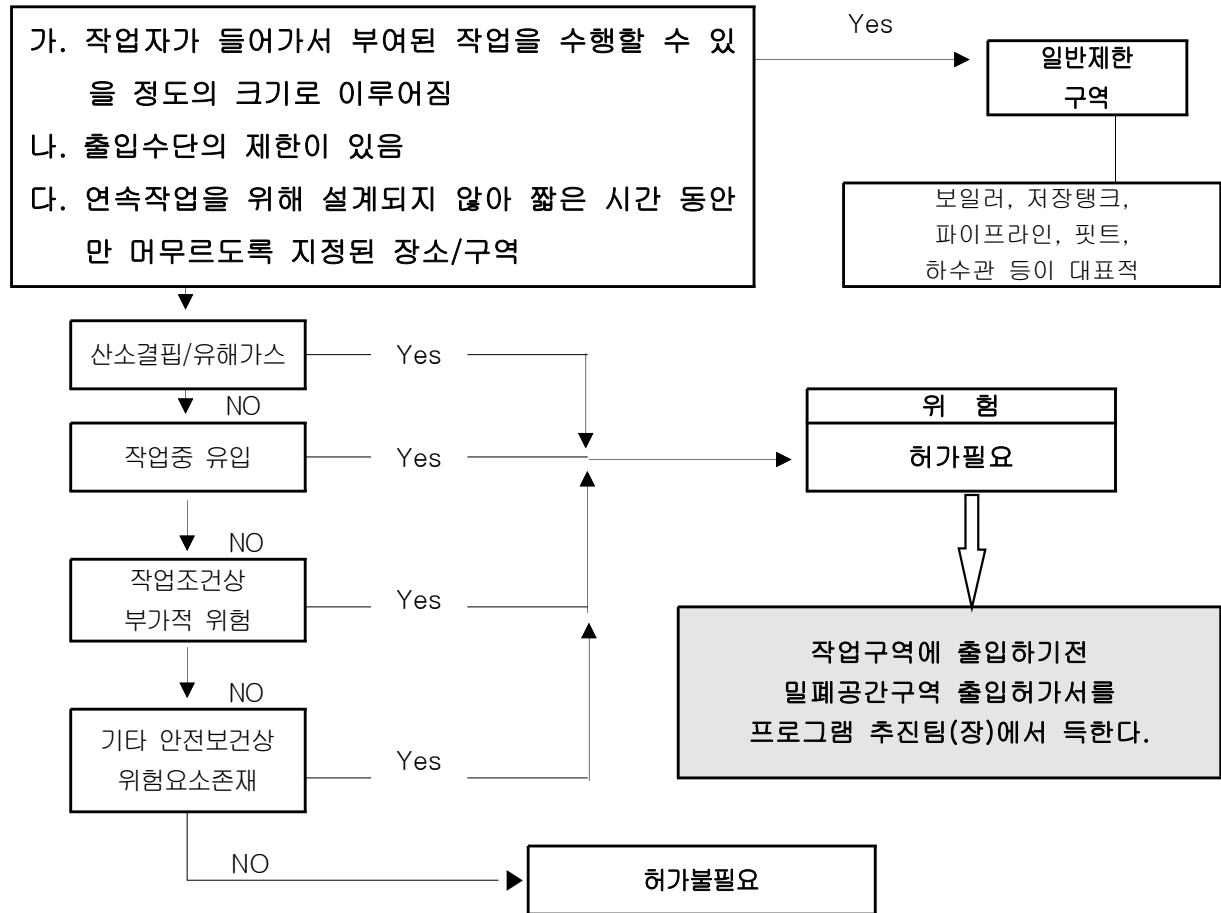
다. 밀폐공간안전보건작업 허가서 발급

- 1) 작업 전에는 밀폐공간 출입을 제한하고 작업에 관계된 관리감독자, 감시인 등은 아래의 작업허가서를 작성하여 추진팀(장)에게서 발급 받은 후 작업을 시행한다.

밀폐공간안전보건작업 허가서				
○ 신청인 : 부서 _____ 직책 _____ 성명 _____ (서명) ○ 작업수행시간 : ____월 ____일 ____시 ~ ____월 ____일 ____시 ○ 작업장소 : _____ ○ 작업내용 : _____ ○ 출입자명단 : _____ ○ 작업관리감독자 : 부서 _____ 직책 _____ 성명 _____ (서명)				
위 공간에서의 작업을 다음의 조건하에서만 허가함.				
1. 화기작업허가 필요유무: ☐ 필요 ☐ 불필요				
2. 내연기관(양수기) 또는 갈탄 등의 사용여부 : ☐ 사용 ☐ 미사용(양수기등 작업중 가능성도 검증)				
3. 안전조치 요구사항				
확인항목	해당여부	확인결과		
안전담당자지정 및 감시인 배치				
밸브차단, 맹판설치, 불활성가스 치환, 용기세정				
산소농도 및 유해가스농도 (계속)측정				
환기시설 설치				
전화 및 무선기기 구비				
방폭형 전기기계기구의 사용				
소화기 비치				
공기공급식 호흡용보호구 비치				
안전장구 구비				
안전교육 실시				
4. 산소 및 유해가스 농도 측정결과				
측정물질명	측정농도	측정시간	측정자	감시인 확인
5. 특별조치 필요사항 :				
최종허가자	부서	직책	성명	(서명)

- 2) 추진팀의 작업관리감독자는 작업 전에 작업자에게 작업위험요인과 이에 대한 대응방법에 대해 교육을 실시한다.

3) 밀폐공간의 작업허가 흐름도



6. 밀폐공간작업

가. 밀폐공간 출입전 확인사항

밀폐공간 출입전 아래의 사항을 반드시 확인한다.(Check List 활용)

확 인 사 항	확인(√표)	비 고
① 작업허가서에 기재된 내용을 충족하고 있는가?		
② 밀폐공간 출입자가 안전한 작업방법 등에 대한 사전교육을 받았는가?		
③ 감시인에게 각 단계의 안전을 확인하게 하며 작업수행 중 상주토록 조치하였는가?		
④ 입구의 크기가 응급상황시 쉽게 접근하고 빠져올 수 있는 충분한 크기인가?		
⑤ 밀폐공간내 유해가스 존재 여부 대한 사전 측정을 실시하였는가?		
⑥ 화재·폭발의 우려가 있는 장소인가? 방폭형 구조장비는 준비되었는가?		
⑦ 보호구, 응급구조체계, 구조장비, 연락통신장비, 경보설비 정상여부를 점검하였는가?		
⑧ 작업중 유해가스의 계속발생으로 가스농도의 연속측정이 필요한 작업인가?		

나. 밀폐공간 작업방법

- 1) 밀폐공간 출입자는 개인 휴대용 측정기구를 휴대하여 작업 중 산소 및 유해가스 농도에 대하여 수시로 측정한다.
- 2) 밀폐공간내에서 양수기 등의 내연기관 사용 또는 슬러지제거, 콘크리트 양생 작업과 같이 작업을 하는 과정에서 유해가스가 계속 발생한 가능성이 있을 경우에는 산소농도 및 유해가스 농도를 연속 측정한다.
- 3) 밀폐공간 출입자는 휴대용 측정기구가 경보를 울리면 즉시 밀폐공간을 떠난다.
- 4) 경보음이 울릴 때 출입자가 작업현장에서 떠나는 것을 감시인은 필히 확인한다.
- 5) 작업현장 상황이 구조활동을 요구할 정도로 심각할 때 출입자는 반드시 감시인으로 하여금 즉시 비상구조 요청을 한다.
- 6) 재해자 발생시 구조를 위해 호흡용 보호구 착용 등 안전조치 없이 절대로 밀폐공간에 들어가지 않는다.
- 7) 밀폐공간 출입자는 다음사항을 꼭 실천한다.
 - 가) 출입자는 작업 전 유해가스 존재여부를 확인하는 등 안전작업 수칙 준수
 - 나) 유해가스가 존재 가능한 장소에서는 수시 측정 및 적정한 공기가 유지되도록 환기조치하고 비상시를 대비하여 응급구조설비를 비치
 - 다) 공기공급식 호흡용보호구를 착용하고 안전작업수칙에 따라 작업수행

7. 산소 및 유해가스 농도측정

밀폐공간에서의 산소 및 유해가스 농도 측정방법은 다음의 사항을 준수하여 측정하고 그 결과는 기록하여 보존한다.

가. 산소 및 유해가스농도의 판정기준

산소 및 유해가스 농도의 측정 후 판정기준은 각각의 측정위치에서 측정된 최고농도를 적용한다.

<측정가스별 기준농도>

측정가스	기준농도
산소(O ₂)	18% ~ 23.5%
탄산가스(CO ₂)	1.5% 미만
황화수소(H ₂ S)	10ppm 미만

※ 보건규칙 제17조제3항의 적정공기 농도 범위

나. 산소 및 유해가스의 정확한 농도측정을 위한 필수조건 및 장비목록

< 필 수 조 건 >

- 밀폐공간 내 산소 및 유해가스 특성에 맞는 적절한 측정기 선택하여 구비한다.
- 측정기는 유지보수관리를 통하여, 정밀도를 유지한다.
- 측정기기의 사용 및 취급방법, 유지 및 보수방법을 충분히 습득한다.
- 측정 전에 기준농도, 경보설정농도를 정확하게 교정하여 측정기를 사용한다.

☐ 우리 회사 내 보유 측정장비 현황 및 대여해야 할 측정장비 목록

① 보유 측정장비 현황

장비명	수량	모델명	측정가스	구입년월	최근교정일	교정 주기	교정기관명 (연락처)	매뉴얼 보유여부
산소농도 측정기	1대	Finch-Com	산 소	2003.7	2005.7.10	2년	()	미보유

② 대여장비 현황(작업개시 3일전 방문하여 대여한다)

장비명	필요수량	측정가스	대여기관	대여일수	연락처	담당자
멀티가스분석기 측정기	2대	H ₂ S, CO ₂ , CO	한국산업안전공단 ○○지역본부/지도원	7일	123-5678	

다. 산소 및 유해가스 농도를 반드시 측정해야 하는 경우

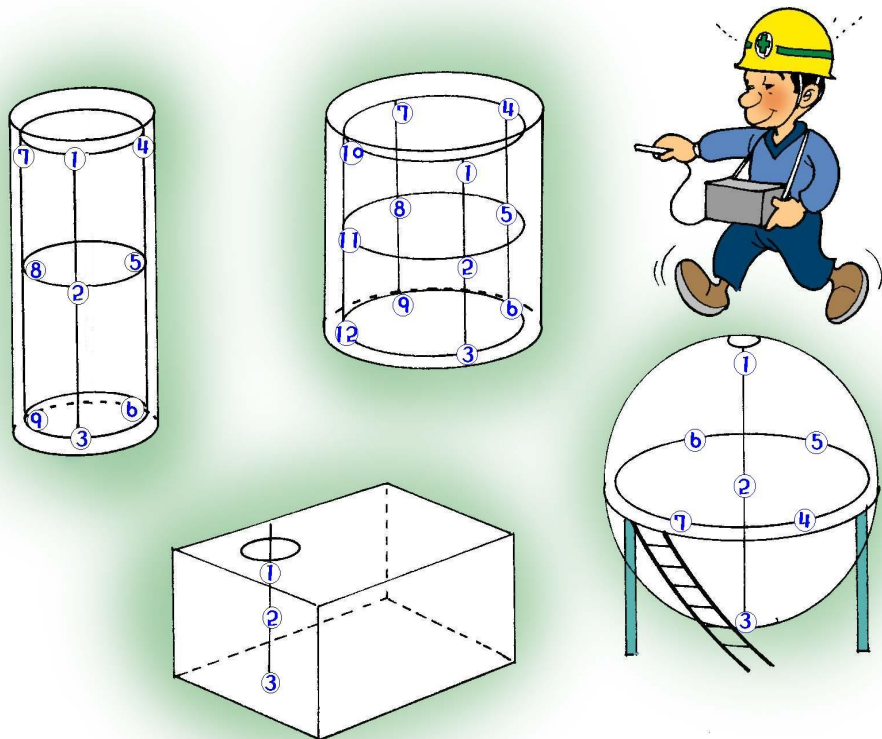
- 1) 당일의 작업을 개시하기 전
- 2) 교대제로 작업을 행할 경우 작업 당일 최초 교대가 행해져서 작업이 시작되기 전
- 3) 작업에 종사하는 전체 근로자가 작업을 하고 있던 장소를 떠났다가 돌아와 다시 작업을 개시하기 전
- 4) 근로자의 건강, 환기장치 등에 이상이 있을 때
- 5) 작업을 하는 과정에서 유해가스가 발생할 가능성이 있을 경우(연속측정)
- 6) 작업자 또는 추진팀에서 측정이 필요하다고 인정되는 경우

라. 산소 및 유해가스 농도 측정 방법 및 유의사항

- 1) 산소 및 유해가스 농도 측정시 측정지점 및 측정방법은 다음과 같이 한다.

측정지점	○ 작업장소에 대해서 수직방향 및 수평방향으로 각각 3개소 이상 ○ 작업에 따라 근로자가 출입하는 장소로서 작업시 근로자의 호흡위치를 중심
측정방법	○ 휴대용측정기 또는 검지관을 이용하여 산소 및 유해가스 농도를 측정한다. ○ 탱크 등 깊은 장소의 농도를 측정시에는 고무호스나 PVC로 된 채기관을 사용한다. ※ 채기관은 1m마다 작은 눈금으로, 5m마다 큰 눈금으로 표시를 하여 깊이측정 ○ 산소 및 유해가스 농도 측정시에는 면적, 깊이를 고려하여 밀폐공간 내부를 골고루 측정한다. ○ 공기 채취시에는 채기관의 내부용적 이상의 피검공기로 완전히 치환 후 측정한다.

<작업장소 형태별 측정지점>



산소 및 유해가스 농도 측정시에는 다음의 사항을 주의하여 측정한다.

< 유 의 사 항 >

- 측정자(보건관리자, 안전관리자, 관리감독자, 안전담당자 등)는 측정방법을 충분히 숙지
- 밀폐공간 외부에서 측정하는 것을 원칙으로 하되 측정자는 안전에 유의
- 긴급사태에 대비 측정자의 보조자를 배치토록 하고 보조자도 구명밧줄을 준비
- 밀폐공간내에 들어가 측정할 경우 측정자 및 보조자는 공기호흡기와 송기마스크 등 호흡용보호구를 필요시 착용
- 측정에 필요한 장비 등은 방폭형 구조로 된 것을 사용

8. 밀폐공간에서의 환기

밀폐공간작업시 작업장소에서 적절한 공기가 유지되도록 환기를 실시한 후 작업을 하며, 작업공간내에서 유해가스가 지속적으로 발생한 경우(양수기 가동, 슬러지 제거작업 등)에는 계속적으로 환기를 실시한다.

가. 환기장치 보유현황 또는 대여현황

명 칭	수 량	모델명	사 양	플렉시블 호스	보 유 여 부	비 고
환기팬	1대		20CMM, 1Hp, 220V	5m, 2개	미보유	한국산업안전공단에서 대여

- 장비 대여는 작업개시 3일전 한국산업안전공단을 방문하여 대여한다.
- 연락처 : 한국산업안전공단 ○○지도원/지역본부 보건기술팀 02) 123-4567

나. 작업장소에 따른 환기량

작업장소	환기량
잠함, 압기실 등의 압기공법의 작업실	기관실 및 작업실에 대하여 사전에 환기설비를 이용하여 당해 기적의 5배 이상의 신선한 외부공기로 환기 후 근로자가 작업하는 동안 계속 급기 한다.
피트 내부	피트 내를 균일하게 환기하고 적절한 공기가 유지되도록 계속하여 급기 한다.
황화수소가 발생할 우려가 있는 탱크, 보일러 등의 내부	기적의 5배 이상 신선한 공기로 급기한 후 출입하고 작업동안에는 적절한 공기가 유지되도록 계속하여 급기 한다.
탱크 내 퇴적물 제거작업	작업개시 전 탱크 등 용적의 3~5배 이상의 신선한 외부공기를 사용하여 환기 후 출입하고 작업 중에는 계속 환기장치를 가동한다.
기타 밀폐공간	작업전 기적의 5배 이상의 신선한 공기로 급기한 후 출입하고 작업동안에는 적절한 공기가 유지되도록 계속 급기 한다.

다. 환기 시 주의사항 및 점검사항

1) 밀폐공간에서의 환기시 다음사항에 주의하여 환기를 실시한다.

< 주 의 사 항 >

- 작업 전에는 산소 및 유해가스의 농도가 기준농도를 만족할 수 있도록 충분한 환기를 실시한다.
- 정전 등에 의한 환기 중단 시에는 즉시 외부로 대피한다.
- 밀폐공간의 환기시에는 급기구와 배기구를 적절하게 배치하여 작업장내 환기가 효과적으로 이루어지도록 한다.
- 급기구는 작업자에 근접하여 설치한다.
- 이동식 환기장치 사용시 폭발 위험 구역 내에서는 방폭형 구조를 사용한다.
- 이동식 환기장치의 송풍관은 가급적 구부리는 부위가 적게 하고 용접불꽃 등에 의한 구멍이 나지 않도록 난연 재질을 사용한다.

2) 이동식 환기장치 사용시 다음 사항을 추진팀(공무담당)에서 반드시 점검하여 사용 중 고장, 가동중지 등으로 인한 위급한 상황이 발생되지 않도록 한다.

구 분	이동식 송풍기	송풍관
점 검 사 항	○ 전원코드의 단선 접속부의 접촉불량 유무 ○ 코드와 단자상과의 접속상태 불량 유무 ○ 코드의 끝에 “환기중·정지”등의 표지판 부착 유무	○ 연소에 의한 구멍이나 파열유무 ○ 링, 나선의 손상유무 ○ 접속부의 확실한 고정여부

9. 보호구의 사용

밀폐공간 작업시 유해가스에 의한 중독 및 질식에 의한 사고를 예방하기 위해 공기호흡기 및 송기마스크 등의 보호구를 반드시 착용한 상태에서 작업을 하고, 사용시 사용장소 및 사용방법 등을 충분히 숙지한 후 사용한다. 다만, 작업시 보호구를 착용하는 것이 원칙이나 측정결과 등으로 밀폐공간내에서의 작업이 안전하다고 판단될 경우 보호구를 착용하지 않아도 된다.

가. 보호구 보유현황 또는 대여현황

명 칭	수 량	모델명	사 양	가스 충진	호스길이	보 유 여 부	비 고
공기호흡기	1대		300kg/cm ² , 30분	필요	-	미보유	한국산업안전공단에서 대여
송기마스크	1대	전동식	220V	불필요	10m	"	"

- 장비 대여는 작업개시 3일전 한국산업안전공단을 방문하여 대여한다.
- 연락처 : 한국산업안전공단 ○○지도원/지역본부 보건기술팀 02) 123-4567

나. 사용장소 및 사용방법

□ 공기호흡기

1) 착용해야 할 장소

밀폐장소 출입작업시 다음과 같이 환기할 수 없거나 환기가 불충분한 경우로서 단기간 작업이 가능한 경우에는 공기호흡기를 반드시 착용하고 출입하며, 고농도의 유기화합물 증기가 예상되는 경우 등에는 방독마스크를 착용하지 않는다.

- ① 수도나 도수관 등으로 깊은 곳까지 환기가 되지 않는 경우
- ② 탱크와 화학설비 및 선박의 내부 등 구조적으로 충분히 환기시킬 수 없는 경우
- ③ 재해사고시의 구조 등과 같이 충분히 환기시킬 시간적인 여유가 없는 경우

2) 공기호흡기의 점검사항 및 사용방법

가) 사용전의 점검사항

- ① 봄베의 잔류압 검사
- ② 고압연결부의 검사
- ③ 면체와 흡기관 및 호기밸브의 기밀검사
- ④ 폐력밸브와 압력계 및 경보기의 동작검사

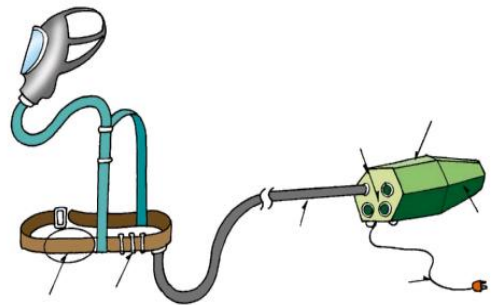


나) 공기호흡기의 사용법

- ① 먼저 봄베를 등에 지고 겨드랑이 끈을 당겨서 조정한다. 다음으로 가슴 끈과 허리끈을 몸에 꼭 맞게 조정한다.
- ② 마스크를 쓰게 되면 좌우 4개의 끈을 1조씩 동시에 당겨서 밀착시킨다.
- ③ 흡기관을 두검으로 강하게 잡고 숨을 들이쉬어 기밀을 확인한다.
- ④ 압력계의 지시치가 $30\text{Kg}/\text{cm}^2$ 이하로 내려가거나 경보기가 울리게 되면 곧바로 작업을 중지하고 유해가스가 없는 안전한 위치로 되돌아온다.
- ⑤ 안전한 위치로 되돌아오면 마스크를 벗고 공기탱크를 교환한다. 공기탱크의 교환 시에는 잔류압을 확인한다.

□ 송기마스크

송기마스크는 활동범위에 제한을 받고 있지만, 가볍고 유효사용 시간이 길어지므로 일정한 장소에서의 장시간 작업에 주로 이용한다.



1) 전동 송풍기식 호스마스크

- ① 송풍기는 유해가스, 악취 및 먼지가 없는 장소에 설치한다.
- ② 전동 송풍기는 장시간 운전하면 필터에 먼지가 끼므로 정기적으로 점검한다.
- ③ 전동 송풍기를 사용할 때에는 접속전원이 단절되지 않도록 코드 플러그에 반드시 “송기마스크 사용중” 이란 표시를 한다.
- ④ 전동 송풍기는 통상적으로 방폭구조가 아니므로 폭발하한을 초과할 우려가 있는 장소에서는 사용하지 않는다.
- ⑤ 정전 등으로 인해 공기공급이 중단되는 경우에 대비한다.

2) 에어라인 마스크

전동 송풍기식에 비하여 상당히 먼 곳까지 송기할 수 있으며 송기호스가 가늘고 활동하기도 용이하므로 유해가스가 발생하는 장소에서 주로 사용한다.

- ① 공급되는 공기중의 분진, 오일, 수분 등을 제거하기 위하여 에어라인에 여과장치를 설치한다.
- ② 정전 등으로 인해 공기공급이 중단되는 경우에 대비한다.

□ 안전보호구

탱크나 맨홀과 같이 사다리를 사용하여 내부로 내려가야 하는 경우에는 안전대나 기타 구명밧줄 등을 사용하여 안전을 확보한다. 비상시에 작업자를 피난시키거나 구출하기 위하여 안전대, 사다리, 구명밧줄 등 필요한 용구를 준비하고 이것의 사용방법을 작업자에게 숙지하도록 한다.

10. 응급처치

가. 응급비상연락체계

응급 재해 발생시 프로그램 추진팀 또는 병원, 119 구조대와 연락할 수 있는 비상연락체계를 다음과 같이 구성한다.

추진팀 연락처		관내병원 연락처		구조대 연락처		유관기관			
프로그램 총괄자		○○병원		긴급전화 119		노동관서			
프로그램 관리자									
추진팀원1		○○병원		관 내 소방서		안전공단			
추진팀원2									
추진팀원3		○○병원				경찰서			
기타 관련자									

만약 응급 재해가 발생하면, 구축된 비상연락망에 따라 병원 또는 구조대, 추진팀에 신속히 연락하고 재해자에 대해서는 구조대가 도착하기 전까지 주위 사람의 도움을 받아 인공호흡, 심폐소생술 등 적절한 응급처치를 실시한다.

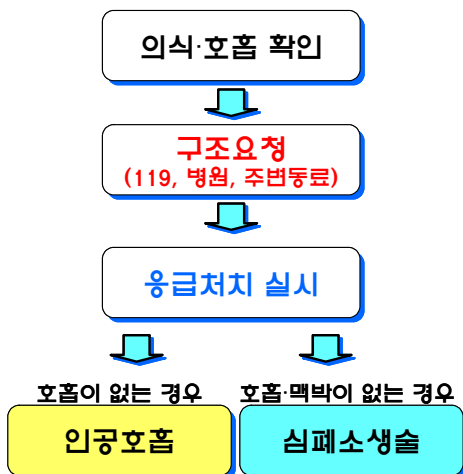
나. 응급처치 시 관찰사항

응급처치시에는 다음의 사항을 주의 깊게 관찰하고 그 내용을 의사에게 정확히 전달하여 치료에 참고하도록 한다.

※응급처치시 관찰사항※

- 의식이 있는지 확인한다.
- 호흡하고 있는지 확인한다. 호흡이 정지되어 있으면 머리를 뒤로 젖히거나 아래턱을 밀어내어 기도를 열어주고 다시 확인한다.
- 출혈의 유무를 살펴본다.
- 맥을 짚어본다. 맥박이 뛰지 않는다고 느낄 때는 동공을 살펴본다. 동공이 크게 벌어져 있으면 위험하고 동공의 크기가 좌우 틀리면 뇌에 이상이 있는 경우이다.
- 손발이 움직이는가를 본다.
- 얼굴과 피부색, 체온을 살펴본다. 혀, 입술, 피부 등이 푸르스름한 색 또는 흑색이 되고 손톱은 암자색이 되었는지 살펴본다.
- 재해자의 체온을 유지하도록 보온한다.
- 협력자를 구한다.
- 재해자를 운반할 때는 서두르지 말고 재해자의 마음을 가라앉히고 되도록 재해자의 상처를 건드리지 않도록 주의하여 운반한다.

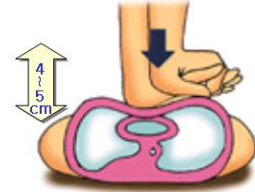
다. 응급처치요령



1) 인공호흡(맥박은 뛰나 호흡이 없는 경우에 실시)

순 서	실 시 방 법
의식확인 	○ 어깨를 가볍게 두드리며 이름을 호명 ○ 목뼈손상의 가능성이 있는 경우 목 뒤쪽을 한손으로 받쳐줌 ○ 환자의 몸을 심하게 흔드는 것은 금지
구조요청 	○ 즉시 전화로 119 또는 병원에 구조요청 ○ 주변 사람에게 도움 요청(“도와주세요!”라고 외침)
자세교정 	○ 바닥이 딱딱한 곳에 인공호흡을 할 수 있는 자세로 바로 눕힘 ○ 목과 머리를 받쳐 주면서 통나무를 굴리듯이 하여 자세를 교정함
기도(숨길)확보 	○ 재해자의 머리 쪽에 무릎을 꿇음 ○ 재해자의 눈썹 바로 위 부분의 이마에 한손을 대고 머리를 뒤로 젖힘 ○ 다른손의 손가락(2,3,4지를 동시이용) 끝으로 턱을 올려 기도확보 ※ 목뼈의 손상이 의심될 경우 ○ 턱 밑에 손을 넣어 턱을 앞쪽으로 밀고 ⇒ 머리를 뒤로 당김(목을 뒤로 젖히지 않도록 주의)⇒ 엄지손가락으로 입을 개방
호흡확인(3~5초간) 	○ 재해자의 얼굴에 자신의 뺨을 밀착시킴 ○ 재해자의 가슴이 뛰는지 확인 ○ 재해자의 숨소리 확인 ○ 재해자가 내쉬는 입김이 느껴지는지 확인
2회 숨 불어넣기 	○ 재해자의 코를 한손으로 쥐고 ○ 다른 손가락으로 턱을 들어올리는 자세 유지 ○ 재해자의 입을 구조자의 입으로 완전히 감싸고 밀착시킨 후 ○ 1.5~2초씩 두 번 숨을 불어 넣음 ○ 숨을 불어넣을 때마다 가슴이 오르내리는지 관찰 ○ 호흡간격은 5초 간격으로 약 1분에 10~12회 정도 반복 실시
자세교정 	○ 인공호흡 실시로 호흡과 맥박이 있을 경우 구토시 이물질이 기도로 유입되지 않도록 “측와위 자세”로 자세 변경 ○ 구조대를 기다림

2) 심폐소생술(호흡과 맥박이 모두 없는 경우에 실시)

순 서	실 시 방 법
의식확인 ~ 2회 숨 불어 넣기	○ 인공호흡법의 의식확인 ⇒ 구조요청 ⇒ 자세교정 ⇒ 기도(숨길)확보 ⇒ 호흡확인 ⇒ 2회 숨 불어넣기까지 1회 실시
경동맥 확인 	○ 경동맥에서 5~10초간 맥박 측정 ※ 경동맥의 위치 : 목의 감상연골(울대뼈)에 손가락을 대고 옆으로 1~2cm 미끄러져 내려와 우묵하게 들어간 곳
인공호흡 	○ 2회 숨 불어 넣기 2회 실시(호흡간격은 약 5초에 1회씩) ○ 숨을 불어넣을 때와 입을 떼었을 때 가슴이 오르내리는지 관찰
심폐소생술	○ 흉부압박 위치 확인 : 양쪽 늑골선이 만나는 명치 부위 ○ 한손의 손등에 다른 손을 겹치고 각지를 꺾어 손가락을 잡아 당김 ○ 팔꿈치가 구부러지지 않도록 하고, 어깨와 손은 일직선으로 유지 ○ 흉부압박 깊이는 4~5cm의 깊이로 압박 ○ 흉부압박의 속도와 횟수 : 1분간 80~100회의 속도 유지 ○ 심폐소생술 속도와 횟수 : 1분간 4주기 실시 ○ 1주기 : 흉부압박 15회 실시 후 인공호흡을 2회 실시(15 : 2)    <위치확인> <흉부압박 자세> <흉부압박의 깊이>
경동맥 확인~ 심폐소생술 반복실시	○ 심폐소생술 1분 실시 후 경동맥 확인하여 맥박이 뛰면 호흡확인 ○ 맥박/호흡이 없을 경우 심폐소생술 반복 실시(1분간 4주기)  반 복   <경동맥 확인> <흉부압박:인공호흡=15:2>
자세교정 	○ 인공호흡 실시로 호흡과 맥박이 있을 경우 구토시 이물질이 기도로 유입되지 않도록 “측와위 자세”로 자세 변경 ○ 구조대를 기다림

11. 교육 · 훈련의 실시

회사는 밀폐공간에서 작업하는 작업자, 관리감독자, 프로그램 추진팀원 등에 대하여 년 2회 집체안전보건교육을 실시하며, 밀폐공간 작업시마다 관리감독자는 작업자, 감시인 등을 대상으로 작업 전 수시안전보건교육을 실시한다.

안전보건교육내용	교육일정 및 강사
○ 유해가스의 종류, 유해 · 위험성 ○ 산소 및 유해가스의 농도 측정방법 ○ 공기호흡기 등 보호구의 사용방법 및 보수점검요령 ○ 공정별 표준작업요령 ○ 사고발생 시의 대처요령 ○ 응급처치요령 ○ 기타 안전보건상의 조치 등	○ 집체안전보건교육 - 일정 : 2~3월, 10월 각 1회 - 강사 · 한국산업안전공단(02-123-4567) · 보건대행기관(02-111-2222) ○ 수시안전보건교육 - 일정 : 밀폐공간 작업허가서 발행시 - 강사 : 추진팀장 또는 관리감독자 ○ 기타사항 - 교육일지 작성, 결재 및 보관 - 교육일지양식 [별첨2] 활용

※ 최신의 교육자료를 준비

※ 교육일지의 내실화 : 교육사진 촬영, 방명록 작성, 교육자료 첨부 등

※ 교육시 교육대상 전원이 교육에 참여토록 하고 미참석자는 별도 교육 실시

12. 기타 안전보건상의 조치

- 1) 통상적으로 출입할 필요가 없는 밀폐공간에 대해서는 잠금장치를 채워서 출입을 제한한다.
- 2) 청소, 보수 등 밀폐공간에서 행하여지는 작업을 발주하는 경우에는 도급인에게 밀폐공간 출입작업에 관한 주의사항을 주지하는 동시에 동 프로그램에 규정된 조치를 발주조건에 명시한다.

13. 프로그램의 평가

프로그램 수행결과에 대하여 적정성을 주기적으로 평가하고 필요시 적절한 조치를 한다.

- 1) 밀폐공간 허가절차의 적정성
- 2) 산소 및 유해가스 농도 측정방법 및 결과의 적정성
- 3) 환기대책수립의 적합성
- 4) 공기호흡기 등 보호구의 선정, 사용 및 유지관리의 적정성
- 5) 응급처치체계 적정여부
- 6) 근로자에 대한 교육·훈련의 적정성 등

프로그램에 대한 평가는 [별첨3] 프로그램 평가표를 활용하여 평가하고, 전체 평가결과에 대한 판정은 우수, 양호, 보통, 미흡, 불량 5단계로 구분하며 판정 기준은 아래와 같이 한다.

[프로그램 평가결과에 대한 판정기준표]

평가결과	점수범위	평가결과의 “O” 판정수
우수	90점 이상	20개 이상
양호	80점 이상~90점 미만	18~19개
보통	70점 이상~80점 미만	16~17개
미흡	60점 이상~70점 미만	14~15개
불량	60점 미만	13개 이하

14. 프로그램의 기록·보관 등

프로그램을 수립·시행한 경우에는 해당 프로그램을 문서로 작성하여 보관하고 프로그램에는 다음 각 호의 사항을 포함한다.

- 1) 밀폐공간 작업허가서
- 2) 산소 및 유해가스 농도 측정결과
- 3) 환기대책수립의 세부내용
- 4) 보호구 지급·착용실태
- 5) 밀폐공간보건작업프로그램 평가자료 등

[별첨 1]

밀폐공간(제17조제1호관련)

1. 다음의 지층에 접하거나 통하는 우물 등(우물·수직갱·터널·잠함·핏트 그밖
이와 유사한 것을 말한다)의 내부
 - 가. 상층에 물이 통과하지 아니하는 지층이 있는 역암층중 함수 또는 용수가 없거나 적은 부
분
 - 나. 제1철 염류 또는 제1망간 염류를 함유하는 지층
 - 다. 메탄·에탄 또는 부탄을 함유하는 지층
 - 라. 탄산수를 용출하고 있거나 용출할 우려가 있는 지층
2. 장기간 사용하지 아니한 우물 등의 내부
3. 케이블·가스관 또는 지하에 부설되어 있는 매설물을 수용하기 위하여 지하에
부설한 암거·맨홀 또는 핏트의 내부
4. 빗물·하천의 유수 또는 용수가 있거나 있었던 통·암거·맨홀 또는 핏트의 내부
5. 해수가 있거나 있었던 열교환기·관·암거·맨홀·둑 또는 핏트의 내부
6. 장기간 밀폐된 강재의 보일러·탱크·반응탑 그 밖의 그 내벽이 산화하기 쉬운
시설(그 내벽이 스테인리스강재의 것 또는 그 내벽의 산화를 방지하기 위하여 필
요한 조치가 되어 있는 것을 제외한다.)의 내부
7. 석탄·아탄·황화광·강재·원목·건성유·어유 그 밖의 공기중의 산소를 흡수
하는 물질이 들어 있는 탱크 또는 호퍼 등의 저장시설이나 선창의 내부
8. 천정·바닥 또는 벽이 건성유를 함유하는 페인트로 도장되어 그 페인트가 건조
되기 전에 밀폐된 지하실·창고 또는 탱크 등 통풍이 불충분한 시설의 내부
9. 곡물 또는 사료의 저장용 창고 또는 핏트의 내부, 과일의 숙성용 창고 또는 핏트
의 내부, 종자의 발아용 창고 또는 핏트의 내부, 버섯류의 재배를 위하여 사용하
고 있는 사일로 그 밖의 곡물 또는 사료종자를 적재한 선창의 내부
10. 간장·주류·효모 그 밖의 발효하는 물품이 들어 있거나 들어 있었던 탱크·창
고 또는 양조주의 내부
11. 분뇨·오니·썩은 물·폐수·오수 그 밖의 부패하거나 분해되기 쉬운 물질이
들어 있는 정화조·침전조·집수조·탱크·암거·맨홀·관 또는 핏트의 내부
12. 드라이아이스를 사용하는 냉장고·냉동고·냉동화물자동차 또는 냉동컨테이너의 내부
13. 헬륨·아르곤·질소·프레온·탄산가스 그 밖의 불활성기체가 들어 있거나 있
었던 보일러·탱크 또는 반응탑 등 시설의 내부
14. 산소농도가 18퍼센트 미만 23.5퍼센트 이상, 탄산가스농도가 1.5퍼센트 이상, 황
화수소농도가 10피피엠 이상인 장소의 내부
15. 갈탄·목탄·연탄난로를 사용하는 콘크리트 양생장소 및 가설숙소 내부
16. 화학물질이 들어있던 반응기 및 탱크의 내부
17. 유해가스가 들어있던 배관이나 집진기의 내부

[별첨 2]

안 전 보 건 교 육 일 지

	결	담당	○○	○○
	재			
교육일시	2006년 월 일 요일 시 분 ~ 시 분			
교육구분	1. 신규채용자 교육(8시간이상) 2. 작업내용 변경시 교육(2시간이상) 3. 안전보건특별교육(16시간이상) 4. 관리감독자 교육(년간 16시간이상) 5. 근로자 정기교육(생산직 : 매월 2시간 이상, 사무직 : 매월 1시간이상) 6. 기타 () 교육			
교육인원	구 분	계	남	여
	교육대상 근로자수			
교육자료	교안	○	TP	VTR
교육목적				
교육내용				
교육실시자 및 장소	성 명	직 명		교육실시 장소
교육평가 및 의견				
특기 사항				

[별첨 3]

밀폐공간보건작업 프로그램 평가표

구분	번호	평가항목	평 가 (O, X)
밀폐공간 허가	1	밀폐공간 작업장소 보유현황 및 위치 등에 대한 자료가 작성되어 있는가?	
	2	밀폐공간 출입시 작업허가서를 작성하여 발급 받았는가?	
	3	작업허가서는 규정양식을 사용하여 올바르게 작성되었는가?	
	4	프로그램 추진팀(장)은 작업허가서를 적법한 절차에 의해 발급하였는가?	
산소 및 유해가스 농도측정	5	산소 및 유해가스 농도 측정대상 물질은 적정하게 선택되었으며 측정시 누락된 물질은 없는가?	
	6	측정장비의 신뢰성(교정 등)은 확보되었는가?	
	7	측정지점수, 측정방법 등은 정해진 규정을 준수하였는가?	
	8	측정결과에 대한 판정은 적합하게 이루어졌는가?	
환기대책	9	밀폐공간 작업장소에 따라 적합한 환기방법, 환기량 선정 등 환기대책은 적절하게 수립되었는가?	
	10	환기팬의 점검은 주기적으로 실시하였는가?	
보호구 선정 및 사용	11	보호구의 종류 및 수량은 충분한가?	
	12	보호구의 보유수량 및 대여필요장비 목록은 작성되어 있는가?	
	13	작업에 따라 적합한 보호구가 선정되어 사용되었는가?	
	14	누출검사를 매사용 시마다 시행하도록 하고 있는가?	
	15	보호구를 주기적으로 청소, 점검 등을 실시하는가?	
응급처치 체계	16	응급상황 발생시 비상연락을 위한 체계는 구축되어 있는가?	
	17	응급전화, 무전기 등의 통신장비는 구비되어 있는가?	
교육 및 훈련의 적정성	18	프로그램관리자, 관리감독자, 작업자 등에 대한 교육계획을 수립하여 시행하고 있는가?	
	19	밀폐공간 작업시마다 작업자에게 교육을 실시하고 있는가?	
	20	관련교육을 실시하는 경우 교육내용 등을 기록하고 보존하는가?	
	21	교육내용, 자료 등은 적절하며 최신성을 유지하고 있는가?	
	22	교육받은 자는 교육내용을 충분히 숙지하여 작업에 올바르게 적용하고 있는가?	

KOSHA CODE

P - 40 - 2001

불활성가스 치환에 관한 기술지침

2001. 12.

한 국 산 업 안 전 보 건 공 단

코드개요

- 작성자 : 신 승 부
- 제정경과
 - 2001년 11월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
 - 2001년 11월 총괄기준제정위원회 심의
- 관련규격 및 자료
 - Chemical process safety : Fundamentals with applications, Daniel A. Crawl/Joseph F. Louvar
 - Loss prevention in the process industries, Frank P. Lees
 - 화학안전공학, 목연수 등 4명, 동화기술
 - 국내·외 화학공장 작업안전표준
- 관련법규·규칙·고시 등
 - 산업안전기준에 관한 규칙 제4편(폭발·화재 및 위험물 누출에 의한 위험방지)
- 코드적용 및 문의

이 코드에 대한 문의는 한국산업안전보건공단 중대산업사고예방실 (TEL 032-5100-682, FAX 032-512-8315)로 연락하여 주십시오.
- 공표일자 : 2001년 11월 일
- 제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

불활성가스 치환에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전기준에 관한 규칙(이하 “안전규칙”이라 한다) 제4편(폭발·화재 및 위험물 누출에 의한 위험방지) 규정에 의하여 화학설비의 점검·정비시 화재·폭발을 예방하기 위하여 실시하는 불활성가스 치환(Purging)에 관한 지침을 정하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 화학설비의 점검·정비를 위하여 불활성가스를 주입하는 작업에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “인너팅(Inerting)”이라 함은 산소농도를 안전한 농도로 낮추기 위하여 불활성 가스를 용기에 주입하는 것을 말한다.

(나) “치환(Purging)”이라 함은 가연성가스 또는 증기에 불활성가스를 주입하여 산소의 농도를 최소산소농도(MOC)이하로 낮게 하는 작업을 통하여 제한된 공간에서 화염이 전파되지 않도록 유지된 상태를 말하며 불활성 가스로는 질소, 이산화탄소 및 수증기 등이 있다.

(다) “최소산소농도(MOC : Minimum oxygen concentration)”이라 함은 가연성 혼합가스 내에 화염이 전파될 수 있는 최소한의 산소농도를 말한다.

(라) “폭발하한계(LEL : Lower explosive limit)”이라 공기 중에서의 가스 등의 농도가 이 범위 미만에서는 폭발되지 않는 한계를 말한다.

(마) “폭발상한계(UEL : Upper explosive limit)”이라 함은 공기 중에서의 가스 등의 농도가 이 범위를 초과하는 경우에는 폭발하지 않는 한계를 말한다.

(바) “화학양론적 계수”이라 함은 화학반응식에 반응물질의 단위몰수에 대한 해당물질의 몰수를 말한다.

(사) “스위프치환(Sweep-through purging)”이라 함은 용기의 한 개구부로 불활성가스를 인너팅하고 다른 개구부로 대기 또는 스크로버 등으로 혼합가스를 용기에서 방출하는 치환방법을 말한다.

(아) “사이폰치환(Siphon purging)”이라 함은 용기에 물 또는 비가연성, 비반응성의 적합한 액체를 채운 후 액체를 뽑아내면서 불활성가스를 주입하는 치환방법을 말한다.

(2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에서 특별한 규정이 있는 것을 제외하고는 산업안전보건법, 동법 시행령, 동법 시행규칙, 안전규칙에서 정하는 바에 의한다.

4. 일반규정

(1) 화학설비의 치환작업은 다음에 적합하여야 한다.

(가) 일반적으로 치환작업의 제어점은 산소농도를 최소산소농도보다 4%이상 낮게 한다, 즉 최소산소농도가 10%인 경우 치환작업으로 산소농도가 6%이하로 되게 한다.

(나) 비어 있는 용기는 가연성 물질을 충전할 경우 미리 용기 내부를 불활성가스로 치환하여야 하며 액체 위의 증기공간에 불활성분위기를 유지할 수 있어야 한다.

(다) 공기가 용기 속으로 들어가는 것을 차단하기 위하여 증기공간 내에 일정한 불활성가스 압력을 유지하도록 불활성화 시스템에 압력조정기를 설치하여야 한다.

(라) 불활성화 제어시스템은 산소분석기가 연속적으로 산소농도를 감시하여 최소산소농도이상인 경우 자동으로 불활성가스를 주입하여 산소농도가 최소산소농도 이하가 되도록 하여야 한다. 다만, 설비를 보수나 정비시에는 수동으로 할 수 있다.

(2) 용기내의 초기 산소농도를 최소산소농도 이하로 감소시키도록 하는데 이용되는 치환(Purging)방법에는 진공, 압력, 스위프, 사이폰치환이 있으며 용기의 상태, 주위환경 조건 등에 따라 적절한 방법을 선택하여야 한다.

5. 최소산소농도 산정

(1) 가연성가스 또는 증기의 최소산소농도는 공기와 가연성성분에 대한 산소의 백분율을 말하며 연소반응식 상의 산소의 화학양론적 계수와 폭발하한의 곱한 값으로 다음과 같이 계산한다.

(가) 가연성가스 또는 인화성 증기의 연소반응식을 작성하여 산소의 화학양론 계수를 구한다.

(나) 가연성가스 또는 인화성 증기의 폭발하한계를 계산한다.

(다) 연소반응식중의 산소의 화학양론적 계수와 폭발하한계의 곱을 구한다.

$$\text{최소산소농도(MOC)} = \text{화학양론적계수} \times \text{폭발하한계} \quad \text{-----}(1)$$

$$\text{즉, MOC} = \left(\frac{\text{완전연소에 필요한 산소의 몰수}}{\text{가연성가스의 몰수}} \right) \times \left(\frac{\text{가연성가스의 몰수}}{\text{가연성가스의 몰수} + \text{공기의 몰수}} \right)$$

6. 진공치환

6.1 일반사항

(1) 진공치환(Vacuum purging)은 용기에 대한 가장 통상적인 치환절차로써 저압에만 견딜 수 있도록 설계된 큰 저장용기에서는 사용될 수 없다.

(2) 진공치환은 진공에 견딜 수 있도록 설계된 반응기에 일반적으로 쓰이는 절차로써 진공치환 단계는 다음과 같다.

(가) 원하는 진공도에 이를 때까지 용기를 진공으로 한다.

(나) 질소나 이산화탄소와 같은 불활성가스를 주입하며 대기압과 같게 한다.

(다) 원하는 산소농도가 될 때까지 단계 (가)와 (나)를 반복한다.

6.2 인너팅 횃수 및 불활성가스량 산정

(1) 이상기체라고 가정하고 대기압과 진공상태에서 전체 몰수 산정

$$n_H = \frac{P_H V}{R_g T} \text{-----}(2)$$

$$n_L = \frac{P_L V}{R_g T} \text{-----}(3)$$

여기서,

 n_H, n_L : 대기압과 진공상태에서 전체 몰수(mol) P_H, P_L : 대기압과 진공상태의 압력(kg_f/cm²) V : 대기압과 진공상태의 부피(m³) T : 대기압과 진공상태의 온도(°K) R_g : 이상기체 상태방정식의 상수(8.3143 J/mol°K = 0.08206 ℓ atm/mol°K)

(2) 대기압과 진공상태에서 산소몰수 산정

$$(n_{oxy})_{IH} = y_0 n_H \text{-----}(4)$$

$$(n_{oxy})_{IL} = y_0 n_L \text{-----}(5)$$

여기서,

 $(n_{oxy})_{IH}, (n_{oxy})_{IL}$: 대기압과 진공상태에서 처음 산소몰수 y_0 : 진공상태의 처음 전체몰수에 대한 산소몰수비

(=대기압상태의 처음 산소농도비)

(3) 1차 인너팅 후 산소농도비 산정

$$y_1 = \frac{(n_{oxy})_{IL}}{n_H} \text{-----}(6)$$

여기서,

 y_1 : 1차 인너팅 후 진공상태의 전체몰수에 대한 산소몰수비

(=1차 인너팅 후 대기압상태의 산소농도비)

식(5)를 식(6)에 대입하면

$$y_1 = \frac{(n_{oxy})_{1L}}{n_H} = y_0 \left(\frac{n_L}{n_H} \right) \text{-----}(7)$$

(4) 진공과 인너팅 공정이 반복될 때 두번째 인너팅 후의 산소농도비 산정

$$y_2 = \frac{(n_{oxy})_{2L}}{n_H} = y_1 \left(\frac{n_L}{n_H} \right) = y_0 \left(\frac{n_L}{n_H} \right)^2 \text{-----}(8)$$

(5) j번째 인너팅 후의 산소농도비 산정

이 공정은 산소농도가 원하는 농도로 감소되도록 반복한다. j회 치환 순환 후 즉, 진공과 불활성가스 주입을 j회 반복 후 전체몰수에 대한 산소몰수비는 다음과 같이 일반식으로 표현된다.

$$y_j = y_0 \left(\frac{n_L}{n_H} \right)^j = y_0 \left(\frac{P_L}{P_H} \right)^j \text{-----}(9)$$

(6) 불활성가스량 산정

각 사이클 동안 가한 질소의 전체 몰수는 일정하다. 따라서 j사이클에 대하여 전체 불활성가스량은 다음과 같이 일반식으로 표현된다.

$$\Delta n_{Inerting\ gas} = j(P_H - P_L) \frac{V}{R_g T} \text{-----}(10)$$

7. 압력치환

7.1 일반사항

(1) 압력치환(Pressure purging)은 용기에 가압된 불활성가스를 주입하는 방법으로 가압한 가스가 용기 내에서 충분히 확산된 후 그것을 대기로 방출하여야 한다.

(2) 압력치환은 진공치환에 비해 치환시간이 크게 단축되는 장점이 있으나 불활성가스를 많이 소모하게 되는 단점이 있다.

(3) 압력치환은 압력용기에 주로 사용하는 방법으로 불활성가스의 압력은 압력용기의 설계압력을 고려하여 결정하여야 하여야 하며 일반적으로 쓰이는 압력치환 단계는 다음과 같다.

(가) 용기에 원하는 압력까지 불활성 가스를 주입한다.

(나) 주입가스가 용기내에서 충분히 확산되면 대기로 방출한다.

(다) 단계 (가)와 (나)를 원하는 산소농도가 될 때까지 반복한다.

7.2 인너팅 횟수 및 불활성가스량 산정

압력치환에 사용된 식은 진공치환과 동일하므로 인너팅 횟수 및 불활성가스량은 식(9),(10)을 사용하여 구할 수 있으며
여기서,

n_H, n_L : 고압과 대기압상태에서 전체 몰수(mol)

P_H, P_L : 고압과 대기압상태의 압력(kg/cm^2)

y_0 : 대기압상태의 전체몰수에 대한 산소몰수비를 나타낸다.

8. 스위프치환

8.1 일반사항

(1) 스위프치환(Sweep-through purging)은 보통 용기나 장치를 압력이나 진공으로 할 수 없는 경우에 주로 사용된다.

(2) 스위프치환은 저압으로 불활성가스를 공급하여 대기압으로 방출되므로 많은 불활성가스를 필요로 한다.

- (3) 따라서 대형 저장용기를 치환할 경우 많은 양의 불활성가스를 필요로 하여 경비가 많이 소요되므로 액체를 용기 내에 채운 다음 용기 상부의 잔류산소를 제거하는 스위프치환 방법의 사용이 바람직하다.

8.2 불활성가스량 산정

- (1) 용기 안에서 완전혼합, 정온 및 정압이라 가정하면 산소농도변화는 다음과 같다.

$$V \frac{dC}{dt} = C_0 Q_V - C Q_V \text{ -----(11)}$$

여기서,

V : 용기의 부피(m^3)

Q_V : 부피유량(m^3/sec)

C : 용기 내부의 산소의 부피농도비

C_0 : 인너팅가스의 산소의 부피농도비

t : 시간

- (2) 식(11)를 적분하여 불활성가스량은

$$Q_V t = V \ln \left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0} \right) \text{ -----(12)}$$

여기서,

C_1 : 치환 전의 산소의 부피농도비

C_2 : 치환 후의 산소의 부피농도비

9. 사이폰치환

9.1 일반사항

(1) 사이폰치환은 치환시 불활성가스 주입량을 최소로 하기 위하여 주로 사용된다.

(2) 사이폰치환은 산소의 농도를 매우 낮은 수준으로 줄일 수 있으며 일반적으로 쓰이는 절차는 다음과 같다.

(가) 용기에 액체(물 또는 적합한 액체)를 채운다.

(나) 용기로부터 액체를 뽑아내면서 증기층에 불활성가스를 주입한다.

9.2 불활성가스량 산정

불활성가스량은 용기의 부피와 같고 불활성가스 인너팅속도는 액체를 방출하는 용적속도와 같다.

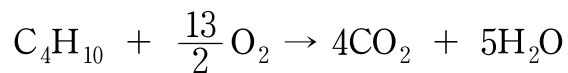
KOSHA CODE
P - 40 - 2001

<부록 1>

최소산소농도(MOC) 계산 예

부탄(C ₄ H ₁₀)에 대한 최소산소농도를 추정
--

(1) 부탄의 연소반응식 작성



(2) 부탄의 폭발하한계 : 1.6%(VOL.)

(3) 최소산소농도 계산

식(1)으로부터 최소산소농도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\text{MOC} &= \frac{13}{2} \left(\frac{\text{산소의 몰수}}{\text{부탄의 몰수}} \right) \times 1.6 \left(\frac{\text{부탄의 몰수}}{\text{부탄의 몰수} + \text{공기의 몰수}} \right) \\ &= 10.4 \text{ VOL.}\% \left(\frac{\text{산소의 몰수}}{\text{부탄의 몰수} + \text{공기의 몰수}} \right)\end{aligned}$$

여기서, 부탄 1 mol을 연소시키는데 필요한 산소량은 13/2 mol이므로
폭발하한계 1.6 vol.%를 연소시키는데 필요한 최소산소농도는 10.4 vol.%가 된다.

<부록 2>

인너팅 횟수 및 불활성가스량 계산 예

3.8 m³ 용기안의 산소농도를 1 ppm까지 줄이려고 한다. 이를 충족시키기 위해 필요한 인너팅 횟수와 질소 사용량을 계산해 본다.

이때 온도는 25. C이고, 용기는 주위의 공기로 가득 차 있다.

(1) 절대압력 20 mmHg까지 도달할 수 있는 진공펌프가 사용되고, 진공에 도달한 후에 절대압력이 1기압이 될 때까지 순수한 질소를 주입하는 경우.

(2) 5.5 kg/cm²G의 압력의 25. C에서 순수한 질소로 압력치환을 실시하는 경우.

(1) 진공치환

(가) 초기 및 마지막 상태에서의 산소농도비는 다음과 같다.

$$y_0 = 0.21 \text{ moles O}_2/\text{total moles}$$

$$y_f = 1 \text{ ppm} = 1 \times 10^{-6} \text{ moles O}_2/\text{total moles}$$

(나) 인너팅 횟수 계산

식(9)을 이용하여 인너팅 횟수를 계산하면

$$y_j = y_0 \left(\frac{P_L}{P_H} \right)^j$$

$$\ln \left(\frac{y_j}{y_0} \right) = j \ln \left(\frac{P_L}{P_H} \right)$$

$$j = \frac{\ln(10^{-6}/0.21)}{\ln(20\text{mmHg}/760\text{mmHg})} = 3.37$$

따라서, 산소농도를 1 ppm까지 줄이려면 4번의 인너팅 단계가 필요하다.

(다) 불활성가스량

식(10)을 이용하여 불활성가스량을 계산하면

$$\begin{aligned}
 P_L &= \left(\frac{20\text{mmHg}}{760\text{mmHg}} \right) (1\text{atm}) = 0.026\text{atm} \\
 \Delta n_{N_2} &= j(P_H - P_L) \frac{V}{R_g T} \\
 &= 4(1 - 0.026)\text{atm} \frac{(3.8 \text{ m}^3)(1,000 \text{ } \ell / 1 \text{ m}^3)}{(0.08206 \text{ atm } \ell / \text{mol}^\circ\text{K})(25 + 273)^\circ\text{K}} \\
 &= 605.4 \text{ moles} = 16.95 \text{ kg의 질소가 필요하다.}
 \end{aligned}$$

(2) 압력치환

(가) 인너팅 횟수 계산

식(9)을 이용하여 인너팅 횟수를 계산하면

$$\begin{aligned}
 y_j &= y_0 \left(\frac{P_L}{P_H} \right)^j \\
 \ell n \left(\frac{y_j}{y_0} \right) &= j \ell n \left(\frac{P_L}{P_H} \right) \\
 j &= \frac{\ell n (10^{-6}/0.21)}{\ell n [1.0336 \text{ kg f/cm}^2 / (5.5 + 1.0336) \text{ kg f/cm}^2]} = 6.64
 \end{aligned}$$

따라서, 산소농도를 1 ppm까지 줄이려면 7번의 인너팅 단계가 필요하다.

(나) 불활성가스량

식(10)을 이용하여 불활성가스량을 계산하면

$$\begin{aligned}
 P_H &= \left(\frac{(5.5 + 1.0336)\text{kg f/cm}^2}{(1.0336)\text{kg f/cm}^2} \right) (1\text{atm}) = 6.32\text{atm} \\
 \Delta n_{N_2} &= j(P_H - P_L) \frac{V}{R_g T} \\
 &= 7(6.32 - 1)\text{atm} \frac{(3.8 \text{ m}^3)(1,000 \text{ } \ell / 1 \text{ m}^3)}{(0.08206 \text{ atm } \ell / \text{mol}^\circ\text{K})(25 + 273)^\circ\text{K}} \\
 &= 5,787 \text{ moles} = 162.04 \text{ kg의 질소가 필요하다.}
 \end{aligned}$$

<부록 3>

스위프치환시 불활성가스량 계산 예

저장용기에 100%의 공기가 차 있는데 산소농도가 1.25%(부피%)이하가 될 때까지 질소로 불활성화시켜야 한다. 용기의 부피는 28 m³이고, 질소는 0.01%의 산소를 포함하고 있다고 가정할 때 얼마 만큼의 질소가 추가되어야 되는지 계산해 본다.

필요한 불활성가스량은 식(11)으로부터

$$\begin{aligned} Q_{vt} &= V \ell n \left(\frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0} \right) \\ &= (28 \text{ m}^3) \ell n \left(\frac{21.0 - 0.01}{1.25 - 0.01} \right) = 79.2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

이 값은 오염된 질소(0.01%의 산소를 포함)의 가스량이다. 산소의 농도를 1.25% 이하로 줄이기 위해 필요한 순수한 질소의 양은

$$Q_{vt} = (28 \text{ m}^3) \ell n \left(\frac{21.0}{1.25} \right) = 79 \text{ m}^3 \text{ 이 된다.}$$

이 교재를 한국산업안전보건공단의 허락없이 부분 또는
전부를 복사, 전제하는 것은 저작권법에 저촉됩니다.

불활성가스 기술자료

2010년 11 발행

2010년 11 인쇄

발행인 : 손 두 익

발행처 : 한국산업안전보건공단 부산지역본부

편 집 : 조선업재해예방팀

주 소 : 부산광역시 해운대구 반여1동 186-49

TEL : (051) 520-0630

FAX : (051) 526-7966
