

KOSHA GUIDE

G - 129 - 2018

잠수용 호흡기체의 질 및
분압 관리에 관한 지침

2018. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 강준혁, 정은교

○ 제·개정 경과

- 2018년 11월 산업보건일반분야 기준제정위원회 심의(제정)

○ 관련규격 및 자료

- U.S. Navy Diving Manual Rev7(0910-LP-118-3027)
- BS EN 12021:2014 Respiratory equipment - Compressed gases for breathing apparatus
- 스쿠버용 압축 공기 기준(SPS-KCLG7009-5353)
- 고기압작업안전위생규칙 제15조(가스 분압의 제한)

○ 관련법규·규칙·고시 등

- 산업안전보건법 제46조(근로시간 연장의 제한)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제525조(공기청정장치)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제526조(고농도 산소의 사용 제한)
- 고기압작업에 관한 기준(고용노동부고시 제2018-52호)
- 공기호흡기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준(소방청고시 제2017-1호)
- 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준(고용노동부고시 제2018-24호)

○ 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2018년 12월 14일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

잠수용 호흡기체 질 및 분압관리에 관한 지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “규칙”이라 한다) 제524조(기압조절실 공기의 부피와 환기 등)제2항, 제525조(공기청정장치), 제546조(고농도 산소의 사용 제한)에 의거 잠수용 호흡기체 질 및 분압 관리 등에 관한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 잠수용 호흡기체의 질 및 분압 관리에 적용한다. 다만, 포화잠수의 호흡기체의 관리에는 적용하지 아니한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “포화잠수(Saturation diving)”라 함은 잠수작업자의 인체내 불활성기체의 분압이 환경압력과 같은 포화된 상태에 이르러 잠수시간이 증가하여도 감압시간은 증가하지 않고 일정한 잠수방법을 말한다.

(나) “감압(Decompression)”이라 함은 고기압 환경에 노출된 근로자를 건강장해 없이 대기압 환경으로 안전하게 이동시키기 위한 여러 조치를 말한다.

(다) “절대압력(Absolute pressure)”이라 함은 완전진공상태에서 0인 압력으로 압력계로 측정한 계기압력과 대기압을 더한 압력을 말한다.

(라) “대기압 환산 농도(Surface equivalent value, SEV)”라 함은 기체의 용량농도(%, ppm)에 환경압력(절대압력)을 곱한 값을 말한다.

(마) “호흡기체”라 함은 잠수작업자가 수중에서 호흡용으로 사용하는 공기, 나이트록스(Nitrox), 헬리옥스(Heliox) 등을 말한다.

(바) “나이트록스(Nitrox)”라 함은 질소와 혼합된 산소의 농도가 공기 중 산소농도보다 높은 호흡용 기체를 말한다.

(사) “헬리옥스(Heliox)”라 함은 헬륨과 산소를 혼합한 기체를 말한다.

(2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 관련 고시에서 정하는 바에 의한다.

4. 호흡기체의 질

4.1 압축공기 질

(1) 압축공기 질은 <표 1>에 따른다.

<표 1> 압축공기의 질

	스쿠버용*	공기호흡기용†	해외규격‡
산 소	20 ~ 22%	20 ~ 22%	20 ~ 22%
이산화탄소	1,000ppm 이하	1,000ppm 이하	500ppm 이하
일산화탄소	20ppm 이하	10ppm 이하	5ppm 이하
오일미스트	-	5mg/m³ 이하	0.5mg/m³ 이하
냄 새	없을 것	없을 것	없을 것
수 분	-	25mg/m³ 이하	25mg/m³ 이하

* 스쿠버용 압축공기 기준(SPS-KCLG7009-5353)

† 공기호흡기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 제35조(공기질분석)

‡ BS EN 12021:2014 Respiratory equipment - Compressed gases for breathing apparatus

(2) 항목에 기준이 표시되지 않은 오일미스트, 수분 등은 공기호흡기용 기준 또는 해외규격을 준용한다. 다만, 200bar 미만의 압축 공기 수분량은 <표 2>에 따른다.

<표 2> 200bar 미만의 압축 공기 최대 수분량

압력 (bar)	대기압 20℃일 때 최대 수분량(mg/m ³)
5	290
10	160
15	110
20	80
25	65
30	55
40	50
40~200	50 이하

4.2 호흡기체 질

호흡기체 질은 <표 3>에 따른다.

<표 3> 잠수용 호흡기체의 질

	산소	나이트록스	헬리옥스
산소	99.5% 이상	(22이상±1.0)%	(10이하±0.25)% (10초과~20이하±0.5)% (20초과±1.0)%
질소	-	산소를 제외한 나머지	-
헬륨	-	-	산소를 제외한 나머지
이산화탄소	5ppm 이하	5ppm 이하	5ppm 이하
일산화탄소	1ppm 이하	3ppm 이하	0.2ppm 이하
오일미스트	0.1mg/m ³ 이하	0.1mg/m ³ 이하	0.1mg/m ³ 이하
수분	15mg/m ³ 이하	15mg/m ³ 이하	15mg/m ³ 이하

4.3 측정

4.3.1 측정대상 기체는 <표 4>와 같다

<표 4> 측정대상 기체와 용도

공기	혼합기체	산소
잠수작업자 호흡용 잠수작업자 비상용 기압조절실 가압용 공기호흡기용	잠수작업자 호흡용 잠수작업자 비상용	기압조절실 감압용 감압병 응급조치

4.3.2 측정 시기 및 기록

호흡기체 질의 측정은 잠수작업현장으로 호흡기체 설비 등을 운송하기 전과 잠수장비를 현장에 설치한 후, 잠수작업을 시작하기 직전에 측정한다.

4.3.3 측정기기

(1) 호흡기체 질은 <표 5>의 검지관용 측정기를 이용한다.

<표 5> 검지관을 이용하는 측정기의 종류

	고압측정(CO, CO ₂ , 수분, 오일미스트)	저압측정(CO, CO ₂ , 수분, 오일미스트)
동시 측정		
단일 측정	피스톤 펌프 	벨로우즈 펌프 

4.3.4 동시 측정 방법

- (1) 측정대상 기체와 적정한 측정 표준을 확인한다.
- (2) 검지관의 측정범위, 적정유량, 측정시간, 측정 시 환경조건(온도, 습도)을 확인하여 측정 시행 여부를 결정한다. 고압실린더에 감압 장치(레귤레이터), 유량 조절기 등이 부착된 장치에 이산화탄소, 일산화탄소, 수분을 측정하는 3개의 검지관과 오일 임팩터를 측정용 어댑터에 연결하여 동시에 측정할 때에는 측정기 전용 검지관을 사용한다.
- (3) 검지관의 양끝을 제거하고 측정용 어댑터에 연결한다. 연결할 때에는 검지관의 화살표와 측정대상기체의 유입 방향을 일치시킨다.
- (4) 감압장치와 연결 어댑터를 연결한 후 연결부의 이상 유무를 점검한다.
- (5) 고압실린더의 밸브를 열고 정해진 유량과 시간동안 측정 대상 기체를 검지관에 흐르게 한다.
- (6) 고압실린더의 밸브를 잠그고, 검지관을 분리하여, 그 결과를 <별지서식 1>에 기록한다.
- (7) 오일미스트를 측정을 위하여 오일 임팩터를 사용할 경우에는 오일 임팩터에 표시된 점의 모양으로 <표 6>의 기준값을 <별지서식 1>에 기록한다.

<표 6> 오일 임팩터 판정 기준

오일 임팩터	사용 후	판정기준
		$1.0\text{mg}/\text{m}^3$: 상단 기준값 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$: 중단 기준값 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$: 하단 기준값 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$: 점 없음 * 각 단의 점이 커져 인접한 점과 연결된 경우 그 기준 범위를 초과한 것으로 한다.

4.3.5 수동 펌프를 이용한 측정 방법

- (1) 측정대상 기체와 적정한 측정표준을 확인한다.
- (2) 측정표준에 명시된 측정범위를 측정할 수 있는 검지관을 선정한다.
- (3) 검지관의 측정범위, 측정 시 환경조건(온도, 습도)을 확인한다. 수동펌프와 검지관은 같은 제조사의 것을 사용하여 유량 및 노출시간 불일치에 따른 오류를 예방한다.
- (4) 오염되지 않은 기체 포집주머니를 준비하고, 압축공기 저장용기의 밸브를 열어 포집주머니에 공기를 담은 후 공기가 누출되지 않게 밀봉한 후, 측정 펌프를 준비한다.
- (5) 검지관의 막힌 양 끝을 절개하고 검지관에 표시된 위치를 참고하여 펌프와 포집주머니에 연결한다. 포집주머니와 검지관을 연결할 때에는 연결부에서 기체가 누출되지 않도록 한다.
- (6) 검지관의 설명서에 따라 펌프를 작동하고 측정시간이 경과한 즉시 검지관의 변색된 부분의 눈금을 읽어 <별지서식 1>에 기록한다.

4.4 호흡기체 질 관리

- (1) 공기압축기는 내연기관의 배기관이 있는 곳으로부터 가장 멀리 떨어진 곳에 위치시키고 공기압축기의 흡입구를 오염원이 없는 곳에 설치한다.
- (2) 공기압축기의 필터 교환 시기를 준수하여 교환하되, 내연기관이 밀집한 해상 작업 시에는 고압의 실린더에 양질의 압축공기를 미리 저장하여 압축공기 오염에 대비한다.
- (3) 잠수작업자에게 호흡기체를 공급하는 장치에 호흡기체 질을 실시간으로 측정하는 측정기를 설치하여 호흡기체 질을 관리한다.
- (4) 일산화탄소 오염 위험이 있을 때에는 필터 중 일산화탄소를 제거하는 촉매제(hopcalite)의 비율이 높은 필터의 사용을 고려해야 한다.
- (5) 내연기관의 배기가스가 유입될 위험이 있는 장소에서 혼합기체를 제조하기 위한

공기압축기 사용은 금한다.

※ 주의 : 혼합기체에 유입된 일산화탄소는 고압의 환경에서 잠수작업자 죽음을 초래할 수 있음.

5 호흡기체의 분압

5.1 분압의 계산

(1) 수중에서 기체 분압은 <표 7>의 식에 의해 구한다.

<표 7> 수중 산소 분압 계산

수심단위 : 미터	수심단위 : 피트
$ppO_2 = \left(\frac{D(m)+10}{10} \right) \times \frac{V_c}{100}$	$ppO_2 = \left(\frac{D(ft)+33}{33} \right) \times \frac{V_c}{100}$
여기서 ppO_2 : 산소의 분압(bar) $D(m)$: 수심(m) V_c : 기체의 용량농도(%)	여기서 ppO_2 : 산소의 분압(bar) $D(ft)$: 수심(ft) V_c : 기체의 용량농도(%)

예1) 산소가 21%인 압축공기의 수중 20미터에서 산소 분압은

$$: \left(\frac{20 + 10}{10} \right) \times \frac{21}{100} = 0.63\text{bar}$$

(2) 산소의 분압은 <표 8>에 따른다.

<표 8> 산소의 허용 분압

분압(bar)	운영 조건	환경
3.0 이하	치료표*6A 운영 중 치료가스 사용 시	기압조절실
2.8 이하	치료표*5, 치료표*6 운영 시	기압조절실
2.2 이하	기압조절실을 이용한 감압 시 첫 주기	기압조절실
1.9 이하	잠수마스크, 잠수헬멧을 착용한 수중 산소 감압시	수중
1.6 이하	수중 활동량이 적은 작업 시	수중
1.4 이하	공기 잠수 작업 시	수중
1.3 이하	헬리옥스 잠수 작업 시	수중
0.5 이하	폐산소 중독이 우려되는 장시간 작업	기압조절실/수중
0.18 이상	저산소증 예방	기압조절실/수중

* 미해군 잠수매뉴얼 치료표

- (3) 질소의 분압은 4.0bar 또는 400kPa을 초과하지 않는다. 질소가 79%인 압축공기의 수심별 질소분압은 <표 9>와 같다.

<표 9> 압축공기의 수심별 질소 분압

수심(m)	분압(bar)	수심(m)	분압(bar)
0	0.79	30	3.16
10	1.58	35	3.56
15	1.98	40	3.95
20	2.37	45	4.35
25	2.77	50	4.74

- (4) 수심 40미터를 초과하면 질소 분압이 4.0bar를 초과하여 질소마취효과에 의한 사고 위험이 높으므로 40미터 이상의 수심에서 공기잠수를 금지하거나, 호흡기체 중 불활성 기체를 헬륨으로 대체하는 등의 적절한 안전조치를 취한다.

5.2 대기압 환산 농도

- (1) 기체의 성분 중 농도가 낮아 측정단위가 ppm인 이산화탄소 및 일산화탄소에 대하여 대기압환산농도(Surface Equivalent Value, SEV)를 적용하고, 환산농도는 용량농도 단위(% , ppm) 뒤에 “(SEV)”를 표기하여 일반적인 용량농도와 구분한다.
- (2) 수중에서 대기압 환산 농도는 <표 10>의 식에 의해 구한다.

<표 10> 압력의 보정

수중(미터)에서 기체의 대기압 환산 농도	
$SEV = \left(\frac{D(m)+10}{10} \right) \times V_c$	$SEV = \left(\frac{D(ft)+33}{33} \right) \times V_c$
여기서 SEV : 산소의 분압(bar) D(m) : 수심(m) Vc : 기체의 용량농도(% , ppm)	여기서 SEV : 산소의 분압(bar) D(ft) : 수심(ft) Vc : 기체의 용량농도(% , ppm)

예1) 이산화탄소가 300ppm인 압축공기의 수중 30미터에서 대기압 환산 농도는

$$: \left(\frac{30 + 10}{10} \right) \times 300\text{ppm} = 1,200\text{ppm(SEV)}$$

※ 대기압에 측정된 기체의 이산화탄소의 농도가 300ppm이고 이를 압축한 공기를 수중 30미터에서 잠수작업자가 호흡하면, 이산화탄소 노출농도는 대기압에서 1,200ppm의 이산화탄소에 노출된 정도와 같다.

예2) 일산화탄소가 50ppm인 기체의 수중 130피트에서의 대기압 환산 농도는

$$: \left(\frac{130 + 33}{33} \right) \times 50\text{ppm} \approx 247\text{ppm(SEV)}$$

※ 수중 130피트(39.6미터)에서 일산화탄소 50ppm이 포함된 기체를 호흡하면, 대기압에서 일산화탄소 247ppm의 일산화탄소를 호흡하는 것과 같고, 환산된 농도는 고용노동부 고시 「화학물질 및 물리적 인자의 노출기준」의 단시간노출기준인 200ppm을 초과한다.

5.3. 분압의 관리

- (1) 압축공기를 이용하여 잠수할 때에는 이 지침의 공기질을 만족하는 경우 40미터를 초과하여 잠수하지 않는다.
- (2) 40미터를 초과하여 잠수할 때에는 질소분압을 4.0bar 이하로 유지하기 위해 질소를 헬륨으로 대체하거나 헬륨을 혼합하여 질소 비율이 낮은 기체를 사용할 수 있다.
- (3) 헬륨을 추가하지 않고 질소의 비율을 줄인 기체(나이트록스)를 사용할 때에는 산소의 분압이 1.4bar를 초과하지 않도록 수심을 제한한다.

<표 11> 나이트록스의 수심 제한의 예

	EAN*32(산소 32%)	EAN36(산소 36%)
산소분압 1.4bar를 유지하기 위한 최대수심	33m 이하	28m 이하

* Enriched Air Nitrox

- (4) 40미터를 초과하여 잠수할 때에는 헬륨과 산소의 혼합기체인 헬리옥스를 사용하고 헬리옥스의 산소 분압을 1.30bar이하로 유지한다.
- (5) 고압실린더에 저장된 헬리옥스의 산소비율은 일정하고, 수심이 깊어질수록 산소의 분압이 증가하므로 산소분압이 1.30bar를 초과하거나 0.18bar 미만이 되기 전에 잠수작업자의 하강 또는 상승을 멈추고 적절한 산소분압의 호흡기체로 전환한 후 하강 또는 부상한다.
- (6) 비상기체통에 저장된 헬리옥스는 잠수작업 수심에서 사용하는 헬리옥스를 충전한다. 다만, 작업할 수심에서 사용하는 산소의 비율이 16%이하인 때에는 산소농도가 16±1% 범위 내의 헬리옥스를 충전한다.

<별지서식 1>

호흡기체 점검표

문서번호 : _____

I. 호흡기체의 종류

☐ 압축공기, ☐ 고압산소, ☐ 나이트록스, ☐ 헬리옥스, ☐ 트라이믹스

II. 측정기기

모 델 명 : _____ 시 리 열 : _____

검교정성적서번호 : _____ 유효기간 : _____ 년 월 일까지

III. 적용표준(또는 고시)

☐ BS EN 12021:2014 Respiratory equipment - Compressed gases for breathing apparatus

☐ 공기호흡기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준(소방청 고시 제2017-1호) 제35조

☐ 스쿠버용 압축 공기 기준(SPS-KCLG7009-5353)

☐ 기타 _____

※ 기타를 선택한 경우 스쿠버용 압축 공기 기준의 질 이상이어야 한다.

IV. 측정 결과

기체성분	기준	1차 공급원	2차 공급원	비상기체	고압산소
산소	%				
질소	%				
헬륨	%				
이산화탄소	ppm				
일산화탄소	ppm				
오일미스트	mg/m ³				
수분	mg/m ³				

적합여부 : ☐ 적합, ☐ 부적합

점검일 : _____ 년 월 일 점검자 : _____ (서명)

<부록> 단위 환산

(1) 압력 단위의 변환은 <표 12>에 따른다.

<표 12> 압력 단위 변환

	atm	bar	MPa	kg/cm ²	psi	mmHg
대기압	1	1.01325	0.101325	1.033227	14.696	760

※ 이 지침에서 압력을 계산할 때에는 1atm ≒ 1bar ≒ 1kg/cm² ≒ 14.7psi로 한다.

(2) 수심 단위의 변환은 <표 13>에 따른다.

<표 13> 수심 단위

	미터(m)	피트(ft)
미터(m)	1	3.28084
피트(ft)	0.3048	1

(3) 해수 수심과 압력의 변환은 <표 14>에 따른다.

<표 14> 수심과 압력

	bar	psi
해수 10 미터	1	14.696(≒14.7)

(4) 수중의 압력을 계산할 때에는 <표 15>에 따른다.

<표 15> 수중 압력

	환산식
미터에서 bar로	$\frac{\text{수심(m)}}{10(\text{m/bar})}$
피트에서 psi로	$\text{수심(ft)} \times 0.44533(\text{psi/ft})$

(5) 수중 절대압력을 계산할 때에는 <표 16>에 따른다.

<표 16> 수중 절대압력

KOSHA GUIDE
G - 129 - 2018

미터	피트
$\frac{\text{수심(m)} + 10}{10} \quad \text{bar(A)}$	$\frac{\text{수심(ft)} + 33}{33} \quad \text{bar(A)}$