

# 해상공사 잠수작업 안전관리

대한산업안전협회 건설안전본부 이기람 차장

## I. 서론

바다 속에서 작업하기 위해 잠수하는 작업자는 평상시 지상 생활에서는 생각할 수 없는 환경상태에 직면하게 된다. 이때에 적절한 대응을 하지 않으면 안전과 건강의 확보가 매우 곤란하게 된다. 인간의 수중 활동을 제한하는 가장 중요한 인자는 숨을 쉴 호흡공기가 없으며, 수심 10미터 당 1기압(약  $1\text{kg}/\text{cm}^2$ )의 수압이다.

고압환경에 노출되어 압력이 증가하는 과정 및 감소하는 과정에서 인체는 여러 가지 직접·간접 영향을 받고 심한 경우에는 건강장해가 발생한다. 따라서 잠수작업 시 많이 사용되는 표면공기공급방식에 의한 잠수작업에 있어서의 안전기준과 예방대책을 알아보고자 한다.

## II. 잠수에 따른 건강장해

### 1. 익수

익수는 물 등의 액체가 호흡기관 내로 흡입되어 들어와 폐호흡이 불가능해진 상태를 말하며 잠수부가 사망하게 되는 가장 주된 원인의 하나이다. 익수를 방지하기 위해서는 잠수, 구조법, 구급소생술 등에 대하여 잠수자는 물론 관련 작업자들이 이에 대한 충분한 지식과 기술을 습득할 필요가 있다.

### 2. 저체온증(hypothermia)

심부온도가  $37^\circ\text{C}$ 로부터  $26.7^\circ\text{C}$  이하로 떨어지는 것을 말하며, 대부분의 경우  $10^\circ\text{C}$  이하에서 발생하고 증상으로는 떨림과 냉각감이 생기고 심박동이 불규칙하고 느려지며



맥박은 약해지고 혈압은 낮아진다. 피부가 차가워지고 호흡이 불규칙하고 늦어지며 저혈압과 탈진이 오게 된다. 심해지면 의식이 혼탁해지고 점차적으로 의식을 잃게 되며 심장과 호흡이 멎게 되어 사망하게 된다.

### 3. 고압에 따른 장해

#### 가. 질소마취

압축공기 잠수의 대표적 단점인 질소마취 현상은 심해의 황홀감이라고도 표현하며 질소는 물보다 지방에 5배나 더 많이 용해되고, 지방에 잘 용해되는 기체는 마취작용이 있다는 Myer-Overton 가설로 원인을 설명하고 있으나 그 기전은 아직 명확하게 규명되지 않았다.

#### 나. 산소중독

수중의 잠수자는 폐압착증을 예방하기 위하여 수압과 같은 압력의 압축기체를 호흡하여야 한다. 그 결과 체내 산소 분압이 증가하여 중추신경계 및 폐에 산소 독성을 일으킨다.

#### 다. 압력손상(압착증)

신체나 사용하고 있는 잠수장비 중 기체를 함유하고 있는 공간의 압력이 주위 압력과의 차이가 있을 때 기체 용적이 변함에 기인하고 가압 과정에서 더 흔하며, 영향을 받는 신체기관으로는 귀(중이/외이), 눈, 치아, 폐 등이다.

#### 라. 폐과팽창증후군(pulmonary overinflation syndrome)

고압환경에서 수압과 같은 압력의 압축기체로 호흡하던 잠수자가 보다 낮은 수압조건으로 상승할 때 허파 속의 기체가 팽창하여 폐포가 파열되면서 발생한다. 갑자기 양성 부력이 형성되어 급히 떠오르거나, 숙련되지 않은 잠수자가

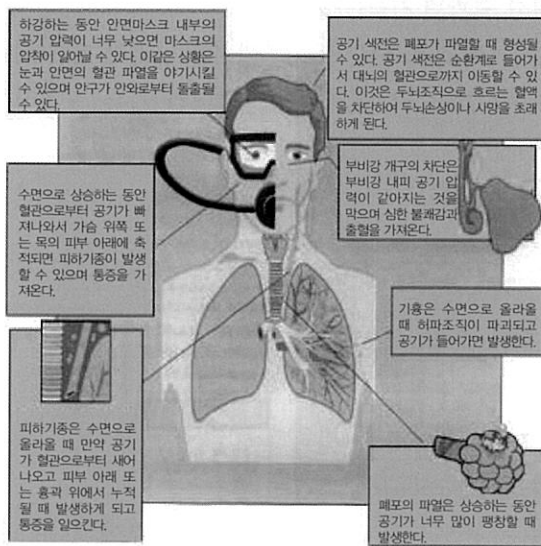
긴박한 상황에 처하여 호흡을 멈추고 상승하거나, 의식을 잃은 잠수자를 수면으로 끌어 올릴 때 흔히 발생한다.

**마. 동맥혈 기체 색전증(arterial gas embolism)**

잠수 장애 중 치명률이 가장 높다. 호흡을 참고 상승 시 폐포가 팽창하고 주변의 폐정맥에 과신장이 초래되고 이때 유입된 기포가 심장을 거쳐 전신순환에 이르고 유입된 기포의 양성 부력 때문에 뇌순환 장애를 일으킨다. 수면으로 복귀하는 상승 중 또는 수면 도착 후 10분 내에 급작스럽게 발병하며 발작, 의식상실, 마비, 감각이상, 지각이상, 시력이상, 현기증, 두통 등이 나타난다.

**바. 감압병(Decompression Sickness)**

고압환경에서 체내에 과다하게 용해되었던 불활성 기체(질소, 헬륨 등)가 과포화 상태로 되어 혈액과 조직에 기포를 형성하여 혈액순환을 방해하거나 주위 조직에 기계적 영향을 줌으로써 다양한 증상을 일으킨다. 근골격계에 나타나는 통증은 관절 주위 또는 관절에 국한되어 나타나며, 통증의 강도는 거의 감지하지 못할 정도의 경미한 것에서부터 참을 수 없는 것까지 다양하다.



[그림1] 잠수에 따른 건강장해

**사. 이압성 골괴사(dysbaric osteonecrosis)**

이상기압에 노출된 사람에게 발생하는 만성적 장애로서, 일종의 무균성 골괴사(aseptic osteonecrosis)이다. 기포가 직접 혈관을 막거나 또는 지방 혈전이 순환장애를 일으키는

것으로 알려지고 있으며, 작업 시 수심이 깊을수록, 잠수 횟수가 많을수록, 감압병의 과거력이 있을 때 빈발한다.

**III. 안전기준 및 예방대책**

**1. 산업안전보건기준에 관한 규칙(전문 또는 일부 발췌)**

**가. 공기청정장치(제525조)**

- ① 사업주는 공기압축기에서 작업실, 기압조절실 또는 잠수작업에 종사하는 근로자에게 공기를 보내는 송기관의 중간에 공기를 청정하게 하기 위한 공기청정장치를 설치하여야 한다.
- ② 제1항에 따른 공기청정장치의 성능은 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준인 스쿠버용 압축공기 기준에 맞아야 한다.



[사진] 공기압축기 공기청정장치

**나. 압력계(제527조)**

- ① 사업주는 공기를 작업실로 보내는 밸브나 콕을 외부에 설치하는 경우에 그 장소에 작업실 내의 압력을 표시하는 압력계를 함께 설치하여야 한다.
- ② 사업주는 제1항에 따른 밸브나 콕을 내부에 설치하는 경우에 이를 조작하는 사람에게 휴대용 압력계를 지니도록 하여야 한다.
- ③ 사업주는 고압작업자에게 가압이나 감압을 하기 위한 밸브나 콕을 기압조절실 외부에 설치하는 경우에 그 장소에 기압조절실 내의 압력을 표시하는 압력계를 함께 설치하여야 한다.
- ④ 사업주는 제3항에 따른 밸브나 콕을 기압조절실 내부에 설치하는 경우에 이를 조작하는 사람에게 휴대용 압력계를 지니도록 하여야 한다.
- ⑤ 제1항부터 제4항까지의 규정에 따른 압력계는 한 눈금이 제공센티미터당 0.2킬로그램 이하인 것이어야 한다.

⑥ 사업주는 잠수작업자에게 압축공기를 보내는 경우에 압력계를 설치하여야 한다.

**다. 피난용구(제529조)**

사업주는 근로자가 고압작업에 종사하는 경우에 호흡용 보호구, 섬유로프, 그밖에 비상 시 고압작업자를 피난시키거나 구출하기 위하여 필요한 용구를 갖추어 두어야 한다.

**라. 공기조(제530조)**

사업주는 잠수작업자에게 공기를 보내는 경우에 공기량을 조절하기 위한 공기조와 사고 시에 필요한 공기를 저장하기 위한 공기조(이하 “예비공기조”라 한다)를 설치하여야 한다.

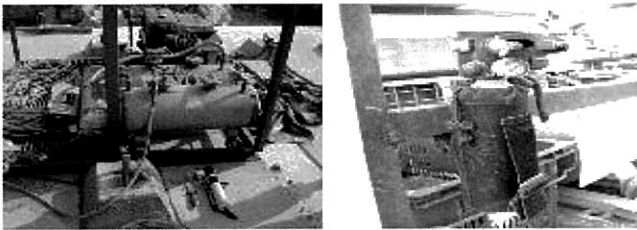
※ 공기조의 내용적은 다음의 계산식으로 계산한 값 이상 일 것

$$V = 60(0.3D + 4) / P$$

V : 공기조의 내용적(단위 : ℓ)

D : 최고 잠수심도(단위 : m)

P : 공기조 내의 공기의 압력(단위 : kg/cm<sup>2</sup>)



[사진2] 공기압축기 예비공기조 및 휴대형 응급공기조

**마. 압력조정기(제531조)**

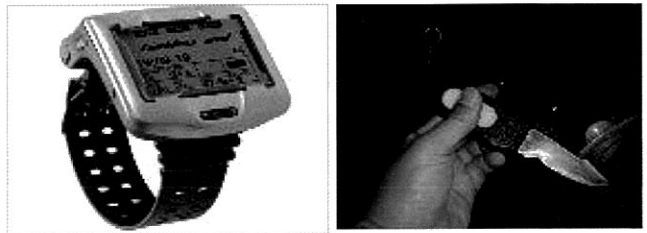
사업주는 공기압력이 제곱센티미터 당 10킬로그램 이상인 호흡용 공기통의 공기를 잠수작업자에게 보내는 경우에 2단 이상의 감압방식에 의한 압력조정기를 잠수작업자에게 사용하도록 하여야 한다.

**바. 감시인(제547조)**

사업주는 공기압축기나 수동펌프에 의하여 공기를 보내는 잠수작업이나 압축공기통에서 급기하는 잠수작업을 하는 경우에 잠수작업자와의 연락을 담당하는 사람을 잠수작업자 2명당 1명씩 배치하고 감시인에게 작업안전 수칙을 준수하도록 하여야 한다.

**사. 잠수작업자의 휴대물 등(제548조)**

사업주는 근로자가 공기압축기 및 수동펌프에 의하여 공기를 보내는 잠수작업이나 압축공기통에 의하여 공기를 보내는 잠수작업에 종사하는 경우에 잠수작업자에게 신호밭줄, 수중시계, 수중압력계 및 예리한 칼 등을 지니도록 하여야 한다. 다만, 잠수작업자와 감시인 간에 통화장치에 의하여 통화할 수 있는 설비를 갖춘 경우에는 신호밭줄, 수중시계 및 수중압력계를 지니게 하지 아니할 수 있다.



[사진3] 수중시계/압력계, 잠수용 칼

**아. 잠수작업 설비의 점검 등(제552조)**

사업주는 잠수작업을 하는 경우에 잠수 전 잠수기구 등을 점검하여야 하며, 이상을 발견한 경우에 즉시 보수, 교체, 그 밖에 필요한 조치를 하여야 한다

**자. 점검 결과의 기록(제555조)**

사업주는 제551조부터 제553조까지의 규정에 따른 점검을 한 경우에 다음 각 호의 사항을 5년간 기록·보존하여야 한다.

- ① 점검연월일
- ② 점검 방법
- ③ 점검 구분
- ④ 점검 결과
- ⑤ 점검자의 성명
- ⑥ 점검 결과에 따른 필요한 조치사항

**차. 잠수시간(제557조)**

사업주는 근로자가 잠수작업을 하는 경우에 고용노동부장관이 정하여 고시하는 시간에 따라야 한다.

**카. 부상속도 등(제537조)**

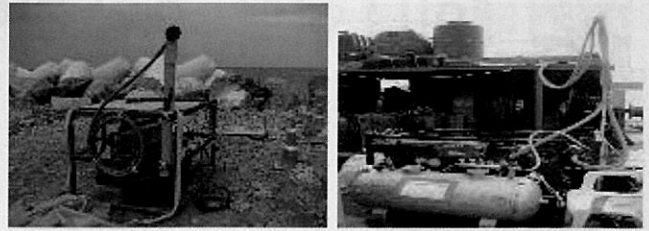
사업주는 잠수작업자를 수면 위로 올라오게 하는 경우에 그 속도는 고용노동부장관이 정하여 고시하는 기준에 따라야 한다.

타. 부상의 특례 등(제538조)

사업주는 사고를 당한 잠수작업자를 수면 위로 올라오게 한 경우에 가능한 한 빨리 해당 잠수작업자를 기압조절실로 대피시키고 그 잠수업무의 최고수심에 대한 압력과 같은 압력까지 가압하거나 그 잠수작업자를 그 잠수업무의 최고수심까지 다시 잠수시켜야 한다.

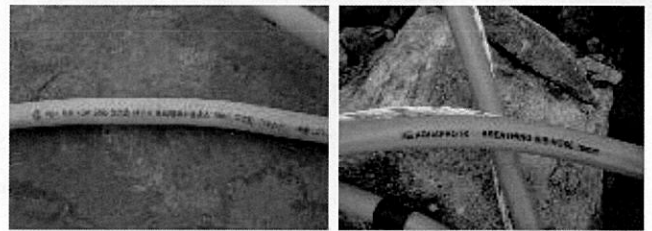


[사진4] 기압조절실(고압 챔버)



[사진5] 공기압축기 흡기구

잠수작업 시 송기관으로 농약살포용 비닐호스를 사용하는 경우가 있는데 이는 잠수작업 중 호스의 손상이 우려되므로 잠수작업용 고무호스를 사용하는 것이 바람직하다.



[사진6] 농약살포용 호스(좌), 잠수작업용 호스(우)

2. 고기압 작업에 관한 기준(고용노동부 고시 제2011-36호)

[표] 고기압작업에 관한 기준[별표2] 일부

압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	잠수 심도 m	고압시간	감압(분) kg/cm <sup>2</sup>									체내 가스압 계수	작업 간 가스 감소 시간(분)	작업 후 가스 감소 시간(분)			
			2.4	2.1	1.8	1.5	1.2	0.9	0.6	0.3	부상(분)						
			24M	21M	18M	15M	12M	9M	6M	3M	24M				21M	18M	
22 초과	22 초과	10분 이하												12	30	30	
		10분 초과 25"													14	30	30
		25 " 37"													15	30	30
		37 " 50"											6		16	30	30
		50 " 58"											14		17	60	30
24 이하	24 이하	58 " 75"										16		14	18	60	30
		75 " 90"										18		16	19	60	30
		90 " 108"										21		22	20	90	30
		108 " 145"										27		32	21	150	60
		145 " 180"										29		41	22	150	60
24 초과	24 초과	10분 이하												12	30	30	
		10분 초과 20"													13	30	30
		20 " 32"													15	30	30
		32 " 45"											7		16	30	30
		45 " 55"											6		17	60	30
26 이하	26 이하	55 " 65"										8		16	18	60	30
		65 " 80"										18		16	19	60	30
		80 " 100"										26		22	20	90	30
		100 " 110"										27		25	21	150	60
		110 " 160"										29		41	22	150	60
26 초과	26 초과	10분 이하												12	30	30	
		10분 초과 20"													14	30	30
		20 " 28"													15	30	30
		28 " 40"											6		16	30	30
		40 " 44"											11		16	30	30
28 이하	28 이하	44 " 49"												16	17	60	30
		49 " 60"										11		16	18	60	30
		60 " 70"										18		22	19	60	30
		70 " 90"										27		22	20	90	30
		90 " 110"										8		27	29	21	150
110 " 140"										13		29	41	22	150	60	

3.기타

공기압축기의 엔진 배기가스가 흡기구로 유입되어 잠수 작업자에게 일산화탄소 등의 유해가스가 공급되지 않도록 엔진 배기구로부터 공기압축기의 흡입구를 이격시키고 풍향을 고려하여 공기압축기를 배치한다.

고기압 환경의 유해인자에 노출되는 잠수작업자는 작업 투입 전 배치 전 건강진단을 실시하고 첫 번째 특수건강 진단을 6개월 이내에 실시하며 그 후 1년 마다 특수건강 진단을 실시하여야 한다.

IV. 결론

수중에서의 잠수작업은 육상과 전혀 다른 생리적 환경과 높은 압력, 제한된 시계 등 특수한 환경에서 작업이 이루어 지고 수중의 잠수작업자의 상태를 수면의 다른 작업자가 직접 볼 수 없는 등 현실적으로 수중의 잠수작업자의 위험 상태를 인지하기가 어렵다. 매우 치명적인 건강 장애가 수반될 수 있기 때문에 잠수작업 시에는 안전 작업계획 수립, 기기 점검, 각 구성원별 안전업무 수행, 안전기준 준수 등 철저한 안전관리가 반드시 지켜져야만 할 것이다. ☹