



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

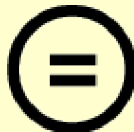
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

심해 잠수작업의 안전대책에 관한 연구



2009年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

安全工學科

吳 泰 坤

工學碩士學位論文

심해 잠수작업의 안전대책에 관한 연구

指導教授 李 來 雨

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함



2009年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

安全工學科

吳 泰 坤

이 論文을 吳泰坤의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2009 年 2月



主 審 工學博士 朴 外 哲 (印)

委 員 工學博士 愼 晟 佑 (印)

委 員 工學博士 李 來 雨 (印)

목 차

1. 서 론	1
1. 1. 연구의 배경	1
1. 2. 연구의 목적	3
2. 잠수방법의 비교	4
2. 1. 산업잠수의 정의	4
2. 2. 산업잠수의 용어 정의	6
2. 3. 일반잠수와 심해잠수의 비교	8
2. 3. 1. 작업환경	10
2. 3. 2. 잠수장비	12
2. 3. 2. 1 일반 잠수	12
2. 3. 2. 2 심해 잠수	14
2. 3. 3. 잠수시스템	22

3. 잠수 관련 사고 분석	25
3. 1. 국내 잠수관련 사고	25
3. 2. 해외 잠수관련 사고	30
3. 2. 1. 스쿠버 다이빙 업계 통계분석	30
3. 2. 2. 산업잠수 업계	35
4. 잠수작업환경 위험도 인식 및 신체증상	43
4. 1. 잠수작업 설문 및 분석	43
4. 2. 잠수작업 설문결과	44
4. 2. 1. 잠수작업에 대한 위험도 인식관련 설문결과	45
4. 2. 2. 잠수작업 중이나 작업 후의 신체 증상에 대한 설문결과 ..	61
4. 2. 3. 통계적 설문분석 결과	63
5. 결 론	66
부 록	68

참 고 문 헌	73
---------------	----

Abstract	74
----------------	----



표 목차

Table 1 산업잠수의 정의	5
Table 2 일반잠수와 심해잠수와의 비교표	11
Table 3 수심 50m 최적 다이빙 및 감압시간	23
Table 4 감압병 형태에 따른 남녀 구성 비율	26
Table 5 호흡방식에 따른 분류	26
Table 6 연령별 분류	27
Table 7 증상 및 징후	28
Table 8 사고발생 유형	32
Table 9 유해 요소별 항목	36
Table 10 미국 연안 경비대 사고 발생수	40
Table 11 설문배포현장 및 회수된 설문지 수	43

그림 목차

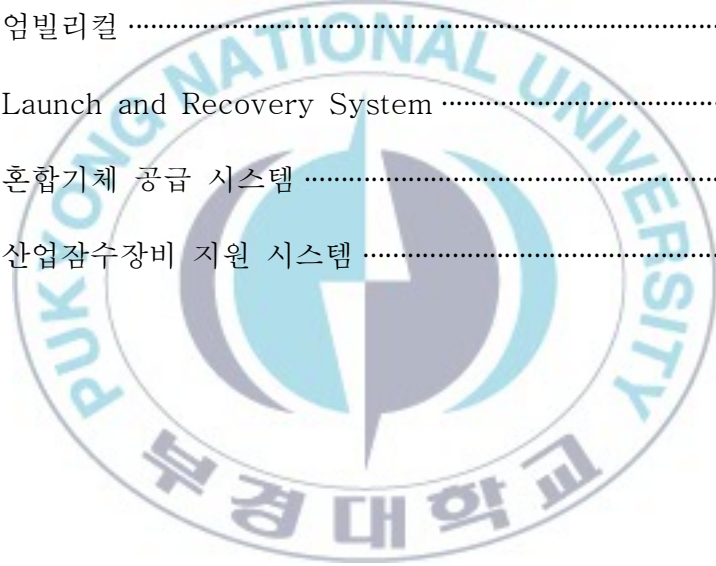
Fig. 1 수심 별 잠수형태	9
Fig. 2 수면 공급식 심해잠수 시스템 개요도	23
Fig. 3 연령별 남녀비교	27
Fig. 4 BSAC 년도별 사고 발생수	31
Fig. 5 BSAC 월별 사고 발생수	31
Fig. 6 발생 유형별 사고 발생수	33
Fig. 7 발생 수심별 사고 발생수	34
Fig. 8 미국 연안 경비대 사고 분석	41
Fig. 9 잠수병 또는 잠수질환의 위험성에 관한 인지정도	46
Fig. 10 타공사에 비해 잠수작업 위험의 정도	47
Fig. 11 동일임금(급여) 지급 시 이직 여부	49
Fig. 12 잠수횟수 또는 시간 감소 여부	50
Fig. 13 규정된 정기 또는 특별안전보건교육의 여부	52
Fig. 14 상승속도와 감압시간에 대한 규정 준수 여부	53
Fig. 15 작업 중 급상승 경험 여부	54
Fig. 16 잠수작업용 장비의 성능	55
Fig. 17 잠수장비의 정기점검 여부	57
Fig. 18 잠수작업경과 기록	59

Fig. 19 특수건강진단에 관한 사항	60
Fig. 20 잠수작업 중 또는 작업후 관절 및 사지의 통증에 관한 사항 ...	61
Fig. 21 감압병 또는 잠수질환으로 입원 또는 통원치료 경험에 관한 사항	62
Fig. 22 잠수작업자의 나이와 경력에 따른 신체적 증상	63
Fig. 23 잠수작업자의 나이와 경력에 따른 신체적 증상	64



사진 목차

Photo. 1 일반공기잠수와 심해잠수 장비 비교	13
Photo. 2 감압용 챔버 운용	15
Photo. 3 혼합기체 다이빙 조정반	16
Photo. 4 다이빙 헬멧	17
Photo. 5 엄빌리컬	18
Photo. 6 Launch and Recovery System	19
Photo. 7 혼합기체 공급 시스템	20
Photo. 8 산업잠수장비 지원 시스템	21



1. 서 론

1. 1 연구의 배경

산업 잠수의 기원은 고대 이집트 시대 귀족 및 상류층들을 위하여 해면 (sponge), 해조류 등을 채취하기 시작하던 때로 거슬러 올라간다. 또한, 이 시대의 산업 잠수는 낮은 수심에서 숨을 참고 수행되었다. 이후 산업 잠수는 군사적인 목적으로 발전되어 고대 페르시아 시대에 적군의 선박에 대한 앵커 제거 및 군사행위 그리고 장애물 제거 등에 적극적으로 활용되었다. 중세이후에는 체류시간을 증가하기 위한 여러 제안, 예를 들면, 가죽 주머니 및 소형 잠수종 등을 착용하여 작업하였다. 19세기 산업혁명에 들어서면서 공기 압축기가 발명되어 지속적인 공기공급이 가능해졌고, 각종 해양 구조물의 수중 기초 작업, 잠함(cassion)을 이용한 수중 작업, 보물선 탐사 및 인양 작업에 널리 활용되었다. 이때에 고압 상태에서 일하는 작업자들에게 감압병이라는 질병이 급증하여 이를 줄이기 위한 각종 연구 및 실험이 시작된다. 근대에 들어와서 미국, 영국 해군의 주도하에 체계적인 다이빙 절차 및 감압 절차가 만들어져 산업 잠수사에게 장시간의 체류 시간과 안전한 감압을 통한 효율적인 다이빙이 확립되었다. 이러한 군사적 목적을 위한 연구 및 실험을 토대로 원유 시추 및 가스 채굴 등의 에너지 관련 산업이 급성장하게 되었고 이와 관련된 산업 잠수가 급성장하게 되었다. 이를 통하여 체계적인 산업 잠수에 대

한 전문 교육기관이 생겨나게 되고 산업 잠수의 표준이 마련되게 되었다. 특히, 산업 잠수사들은 작업으로 인한 질병과 사망의 위험이 높은 집단군으로 분류할 수 있다. 이는 감압병 치료시설을 갖춘 민간의료기관에서 1986년 말부터 2년간 489명¹⁾, 민간인의 이용이 쉽지 않은 군 의료기관에서 10년간 163명의 감압병 환자를 진료한 기록²⁾으로도 알 수 있다. 실제적으로 잠수 활동이 많이 이루어지고 있는 해양작업 현장에서 잠수사고로 인해 산업잠수사가 사망한 경우나 잠수관련 질환과 그 후유증으로 보행애로를 가지는 등 정상적인 생활을 하지 못하는 사례들이 빈번하다. 현재 국내 업체에 의해 설계, 시공, 유지되고 있는 각종 해양 플랫폼 및 관련 해양 구조물에 대한 산업 잠수와 관련된 서비스의 수준은 외국의 선진 해양 국가들에 비하여 상당히 뒤지고 있다. 근본적으로, 해양구조물에 대한 전문 지식 및 경험이 부족하여 적절한 수중 서비스를 제공하지 못하고 있으며, 해양구조물에 대한 수중작업의 영역은 나날이 넓어지고 있는 실정이므로, 우리나라에서도 산업잠수와 관련된 서비스와 안전관리에 대한 중요성이 대두되고 있는 실정이다.

1. 2 연구의 목적

우리나라는 3면인 바다인 관계로 해양대국이라는 대 명제와 비교하여 볼 때 해양구조물 제작, 설치 및 유지관리와 관련한 구체적인 정책지원, 제도 등과 관련된 분야가 뒤떨어져 있는 것이 현 실정이다. 특히 해양 분야 중에서 산업잠수의 기술적인 면이 타 분야에 비해 매우 낙후되어 있는 것이 사실이다.

우리나라의 산업 잠수 업계 상황은 공기 잠수, 특히 후카(hookar) 방식의 잠수 기술이고 이것은 재래기술에 절대적인 의존을 하고 있다고 볼 수 있다. 그리고 수면 공급식 잠수장비(통신 장비 포함)에 대한 필요성의 인식이 부족하고, 이와 관련하여 제반 시스템에 대한 운용 기술의 축적이 매우 부족한 상태이다³⁾.

따라서, 본 연구에서는 산업 잠수사들의 잠수작업 환경 및 건강실태에 관한 설문조사를 통하여 산업 잠수사들이 안전하게 작업할 수 있도록 하기 위한 작업환경 구축 및 직업병 예방을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 잠수방법의 비교

2. 1 산업잠수의 정의

국내의 경우에는 산업 잠수에 대한 정의가 명확하게 정립되어 있지 않으므로 본 논문에서는 영국의 안전보건청(The Health and Safety Executive: HSE)에서 규정하는 산업 잠수의 정의로서 대신한다. 산업 잠수란 "원유 및 가스 생산과 관련된 다이빙 작업과 인근 해역 및 내해에서 수행되는 여러 가지 수중 공사와 관련되어 유지, 관리 등에 필요한 수중업무로 행해지는 형태의 업무를 총체적으로 일컫는다^{4),5)}" 라고 정의하고 있다. 영국의 안전보건청에서는 별도의 산업 잠수 분과(diving group)가 구성되어 있고, 각종 법규 제정 및 지속적인 개선을 통하여 총체적인 안전 시스템을 구축하고 있다. Table 1은 미국 산업 잠수 업계에서 통용되는 일반적인 정의를 나타낸 것이다.

Table 1 산업잠수의 정의

산업안전위생관리청(OSHA)	산업잠수업체 협의회(ADC)
30m이상의 스쿠버 다이빙은 허용하지 않음.	30m이상의 스쿠버 다이빙은 허용하지 않음.
“J” 밸브 또는 비상용 호흡기체의 공급	잠수사는 별도의 비상호흡 기체의 착용을 의무화
대심도 혼합기체 잠수시에는 현장에 반드시 감압 챔버의 의무화	수면 공급시 헬리옥스(HeO2)허용 단, 개방형 또는 폐쇄형 잠수종 사용 가능
	잠수사는 수심 측정용구, 손목형 시계 및 비상용 칼을 착용하여야 함
6 개월마다 장비검사의 의무화	6 개월마다 장비검사의 의무화

2. 2 산업잠수의 용어 정의

산업 잠수에서 주로 활용되는 용어는 아래와 같이 정의한다⁶⁾.

- 1) 잠수종(bell): 가압상태(closed bell) 또는 무가압상태(open bell)의 밀폐된 고압용기로서 산업 잠수사의 입출시 및 감압시의 임시적인 감압 위치로 활용.
- 2) 수중 체류시간(bottom time): 산업 잠수사가 수면을 출발하여 해당 작업을 수행한 후에 다시 수면으로 상승할 때까지의 시간을 누적한 시간
- 3) 감압 챔버(decompression chamber): 수상/지상에 설치되어 산업 잠수사의 감압절차를 수행할 수 있는 밀폐형 고압용기. 감압챔버는 대심도 다이빙 및 수중 체류시간의 연장으로 인한 산업 잠수사의 안전한 감압 및 재압을 할 수 있는 장비
- 4) 감압병(decompression sickness): 산업 잠수사가 호흡하는 기체에 기인된 여러 증상을 나타내는 잠수병으로서 불활성 기체의 기포가 급상승하거나 무리한 상승으로 인하여 혈관 및 기관에 장애를 주는 현상.
- 5) 감압테이블(decompression table): 수심과 체류시간과의 상관관계를 상

승 속도 및 호흡 기체에 따라 명시한 테이블로서, 미해군에서 제정한 테이블을 기반으로 하여 산업 잠수업계별로 독자적인 감압 테이블을 제정하여 사용하고 있음.

6) 다이빙 형태(diving mode): 적용 장비, 절차 및 기술에 따른 분류로서 스쿠버 다이빙, 수면 공급식 공기 다이빙, 수면 공급식 혼합기체 다이빙, 포화잠수로 나누어지며, 산업잠수에서는 스쿠버를 사용한 다이빙은 특별한 경우를 제외하면 극히 제한적으로 사용됨.

7) 혼합 기체 다이빙(mixed-gas diving): 공기 외에 다른 호흡 기체를 사용하여 대심도에서의 다이빙을 가능하게 하는 잠수방법으로, 나이트록스(nitrox; 질소+산소), 트라이믹스(질소+산소+알곤/헬륨) 등의 형태가 있으며, 실제 산업잠수업계에서는 HeO₂(헬리옥스)를 사용하여 다이빙을 수행하며, 감압시 나이트록스 및 공기를 사용함.

8) 무감압 한계 (No-decompression limits): 수심과 체류시간 관계 중에서 감압이 필요하지 않는 수심에서 체류시간을 제한하는 것으로, 재 잠수시에는 제한된 시간 및 수심을 지정받아 수행함.

9) 엄빌리컬(umbilical): 호흡 기체, 통신용 케이블, 수중 조명용 케이블, 강성 로프, 수심 측정용 및 온/냉수 공급 호스 등의 여러 가지 호스들이 한 묶음으로 되어 있는 장비로서 산업 잠수사의 생환과 직결되어 있는 가장 중요한 장비임.

2. 3 일반잠수와 심해잠수의 비교

일반 공기잠수와 혼합기체를 사용한 심해잠수의 특이한 사항은 아래와 같이 구분할 수 있다. 감압 챔버의 운용 기술 및 장비 부족 등으로 일반 공기잠수와 수중 감압형식의 잠수가 통용되고 있으나 실제적으로 현장의 여건 및 상황에 적합한 형식의 잠수가 적절하게 운용되지 않아 안전사고에 취약하다고 할 수 있다. 국내의 수중공사업 등록업체 중에서 산업 잠수업체의 다이빙 시스템을 조사하여 분석한 결과에 의하면, 점차적으로 시스템 개선 등의 의지는 확연하나, 현실적으로 공사 하도급 체계에서 장비에 대한 투자비 제한, 내, 외부의 인원에 대한 교육 등이 원만하게 이루어 지지 않고 있는 것이 현실이다¹²⁾. 다행히 주요한 원청회사에서는 산업 잠수사의 신체검사 강화, 최소한의 안전교육 등이 이루어지는 것으로 보아 안전의식이 점진적으로 개선되는 것으로 보인다.

1) 일반 공기 다이빙의 한계점은 수중의 체류시간 제한, 산업 잠수사의 생리적인 문제, 질소마취로 인한 판단 능력 감소 및 수중 산업 잠수사의 안전의 제약 등이 있다.

2) 혼합 기체 다이빙의 장점은 수중에서의 체류시간의 연장이 가능하고, 운용자의 전문 지식과 경험이 절대적이며, 대심도 혼합기체 다이빙 시스템의 장비와 운용능력이 월등하고, 감압 절차가 표준화(decompression table)되어 있다는 점이다.

Fig. 1은 수심별 잠수형태를 나타내고 있다. 여기에서 나타낸 바와 같이 수심 30m 이상의 대심도에서 혼합 기체 다이빙을 수행하기 위해서는 충분한 장비와 전문적인 기술 및 자격을 갖춘 인력의 구성과 그에 따른 적합한 절차, 시행 계획, 장비 등이 필수적으로 갖추어져야 한다.

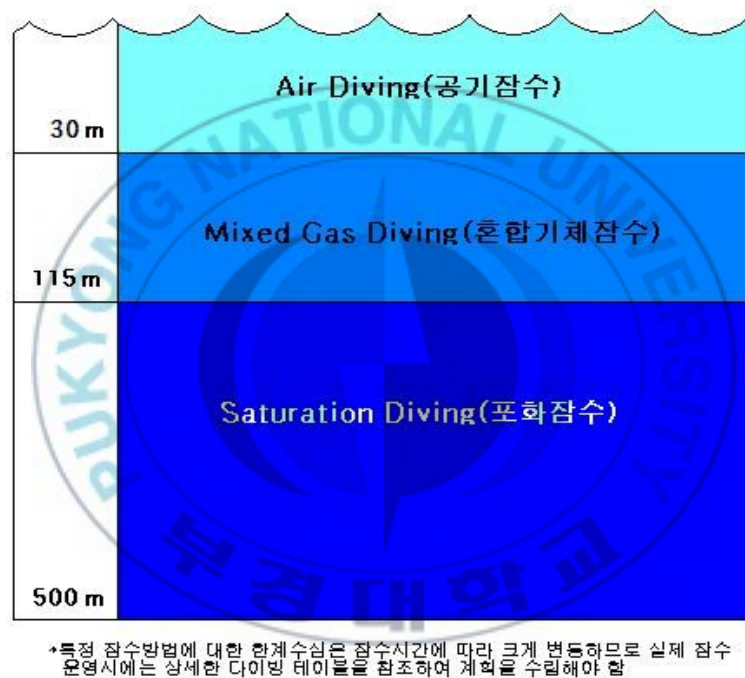


Fig. 1 수심 별 잠수형태

2. 3. 1 작업환경

국내에서 행해지는 일반 공기 잠수와 심해에서 수행되는 산업 잠수의 작업 환경은 아래의 Table 2에서 나타낸 바와 같이 안전 관리 측면에서 상당한 차이를 보여주고 있다. 이러한 차이점은 안전 관리상 별도의 관리 절차를 확립하여 각각의 작업환경 조건에 적합하도록 수립하여야 할 필요성을 보여 준다.



Table 2 일반잠수와 심해잠수와의 비교표⁷⁾

비교 항목		심해 잠수	일반 잠수
안 전 관 련	다이빙 시간	호흡시간제한이 없고 정해진 수심(15m)에서 무감압 잠수시간 100분 동안 제한 없이 업무수행 가능. 무감압 시간을 넘기더라도 최대240분동안 정해진 감압표에 따라 안전하게 감압/상승할 수 있음.	무감압 시간에 도달하지 않더라도, 일정시간 공기탱크를 소비하면 수심 15m에서 약 30~40분에 상승하여야 함. 다이빙 시간은 수심이 깊어질수록 줄어듦.
	체온 유지	헬멧착용으로 산업 잠수사의 머리가 물에 노출되지 않으므로 저 체온증 등의 위험이 적음.	머리가 물에 노출되어 체온손실이 빠르고 다이빙 시에 저체온증 등의 위험이 있음.
	공기 공급 중단	육상의 사고 및 공급 호스의 파손 등으로 공기공급이 중단될 시는 산업 잠수사가 장착하고 있는 비상용 공기탱크로 자체공기 공급가능	산업 잠수사의 탱크가 유일한 공기공급 수단이므로 장비고장 이나 탱크의 공기를 전부 소비시에는 인명사고로 이어질 수 있음.
	감압	다이빙시간이 길어질 경우는 해당 수심에 대한 감압표에 따라 육상에서 산업 잠수사의 안전한 감압으로 조절할 수 있음.	감압이 필요한 경우라도 산업 잠수사의 공기탱크 용량이 적을 경우는無理하게 상승해야 하므로 사고위험이 있음.
	외부 충격에 보호	다이빙 헬멧 자체가 외부충격에 대해 잠수사의 머리를 보호함.	비상상황으로 인한 외부충격 시에 마스크가 벗겨지거나 잠수사의 머리에 손상이 가해질 수 있음
작 업 효 율 관 련	통신 장비 및 촬영 장비 구성	헬멧으로 연결되는 Umbilical로 공기공급, 통신 촬영, 조명, 수심측정이 가능. 카메라는 헬멧에 장착되어 잠수사의 조사 및 작업상황을 실시간 파악, 촬영과 동시에 잠수사는 두 손을 자유롭게 사용할 수 있음 촬영화면은 잠수사의 시선과 일치함.	공기공급은 잠수사가 착용하는 탱크로, 통신라인은 잠수사의 마스크에 연결되며 비디오, 조명라인은 잠수사가 손에 든 카메라에 연결되는 복잡한 형태. 조사 외에 작업과 촬영의 동시 수행이 어려움.
	필요 인원	1회 다이빙 시간이 충분하며 정확한 감압이 이루어지고 적은 인원으로도 효과적인 다이빙 계획을 세울 수 있음.	1회 다이빙시간에 제한이 크고, 정확한 감압이 어려워 재 잠수에 소요되는 시간 및 인원이 증가함.

2. 3. 2 잠수장비

2. 3. 2. 1 일반 잠수

우리나라에서 일반잠수의 경우에 사용되는 장비의 대부분은 후카(hookah)라 불리우는 시스템이 사용되고 있다. 이 후카 시스템은 일반적으로 농약 호스와 유사한 호스를 사용하는 것이 대부분이며, 이는 호스의 가격이 아주 저렴하면서 기존 잠수사들이 익숙해져 있다는 점에서 상용화되어 있는 현실이다. 그렇지만, 안전관리 측면에서 검토해 본다면, 이러한 농약 호스는 꺾이기 쉽고 절단되기 쉬운 구조로 되어 있어 공기의 원활한 공급이 이루어 지지 않을 수 있다. 국내에서 일어나는 대부분의 잠수사고는 호스의 꺾임(kinking) 현상으로 인하여 절단 사고가 발생하고 이것이 인명사고로 연결되는 것이 대부분이다. 또한, 농약용 호스는 내부 채질의 독성으로 수중에서 사용하면 잠수사의 호흡 기체의 품질에 나쁜 영향으로 작용한다.

그리고 대부분의 일반 잠수에서는 통신 장비를 사용하지 않고 로프를 사용한 수신호로 이루어지기 때문에 위급한 상황에서 잠수사 자신의 판단에 의존할 수 밖에 없고 대부분이 급상승할 수 밖에 없다는 단점이 있다.

이와 같이 일반잠수에서 발생하는 안전 관리상 문제의 근본은 하도급 관계의 제일 말단의 작업을 하는 일명 보따리라고 하는 잠수반에 의해 발생되며 이것은 최저 단가에 의한 업무 수행이 가져온 결과로 볼 수 있다. 이로 인하여 장비의 노후화가 가속화되어 가고 있으며, 안전한 다이빙 시스템을 구축하기 어렵게 하는 주요 요인으로 작용하고 있는 것이 사실이다.

Photo. 1에서 비교된 바와 같이 일반 잠수는 독성이 있는 일반 농약용 호스를 사용하고 있는 경우가 많으며, 통신시스템도 없고 실시간 모니터링도 되지 않는다. 비상용 탱크나 조명 시스템도 제대로 갖추지 않고 있지 않는 데에 비해, 심해잠수는 다이빙 전용 호스인 엄벌리컬을 사용하고, 통신 시스템을 갖추고 있다. 따라서 실시간 모니터링이 가능하고 비상용 탱크와 조명 시스템도 갖추고, 혼합기체의 사용이 가능하고 수심측정도 가능하게 되어 있다.



Photo. 1 일반공기잠수와 심해잠수 장비 비교

2. 3. 2. 2 심해 잠수

수심이 200ft(61m) 에 달하면 공기에 함유되어 있는 질소와 산소의 생리학적인 작용으로 인해 공기의 사용은 제한된다. 200ft(61m)를 초과하는 수심에서는 고압 질소에 의한 마취증상이 뚜렷이 나타나므로 산업 잠수사가 임무를 수행하고 이성적인 판단을 내리는 능력에 심각한 영향을 미친다. 따라서 이러한 수심에서 질소에 노출된 시간이 길어지면 산업 잠수사들에게 위험을 초래할 수 있다. 특히 "질소마취"로 알려진 이 증상 때문에 190ft(58m)이상의 수심에서는 잠수시간(bottom time)을 30분으로 제한한다.

더욱이 고압 산소가 가진 독성 때문에 공기를 혼합기체로 사용할 수 없다. 부분압력이 1.6 기압(절대압력) 이상의 산소에 노출되면 산업 잠수사는 간질과 같은 발작을 일으킬 수도 있다. 공기를 사용할 때 220ft(67m)에서 30분 이상 노출되면 산소의 분압이 1.6 기압(절대압력)에 이르고 따라서 220ft(67m) 이상의 잠수에 공기를 사용하는 것은 금지된다.

이러한 문제들을 극복하기 위해 헬륨과 산소의 혼합기체가 호흡용으로 사용된다. 이것은 헬륨이 질소와 달리 고압에서 마취증상을 유발하지 않기 때문이다. 따라서 대심도 작업에서 산소의 위험성을 없애기 위해 헬륨과 혼합되는 산소의 양을 제한한다. 헬리옥스(헬륨+산소)의 사용에 대하여는 특정한 제한 요소들이 있다. 수심 220ft 이상에서, 또는 수중 감압시간이 120분을 초과할 때는 개방형 잠수종(open bottom bell)이 다이빙에 사용되어야 한다. 300ft(100미터)이상의 수심에서는 폐쇄식 잠수종(closed bell system)이 사용되

어야 한다. 모든 혼합기체 다이빙에서 산업 잠수사는 비상용 가스탱크를 착용해야 하며 지상에 감압 챔버가 준비되어 있어야 한다.

1) 감압용 챔버

Photo. 2는 다이빙을 마친 산업 잠수사가 수중 감압시간을 줄이기 위해 사용하는 장비이다. 간략하게 수중 감압이 된 이후에 지상으로 복귀한 산업 잠수사는 감압실 내에서 다시 일정 수심의 압력과 같이 가압된 후에 100%산소와 공기를 번갈아 호흡하면서 감압을 실시하게 된다. 다인용 격실 시스템으로 구성되어 최대 6명까지 수용 할 수 있다.



Photo. 2 감압용 챔버 운용

2) 혼합기체 다이빙 조정반

Photo. 3은 대심도에서 다이빙을 수행할 때에 사용되는 HO_2 , N_2O_2 , AIR, O_2 등의 잠수용 여러 가지 가스의 개폐 및 산소농도를 모니터링 할 수 있다. 이 설비는 산업 잠수사들의 통신연락이 실시간으로 가능하게 하며, 영상으로 효율적인 업무 수행을 지원하게 해 주는 시스템이다.



Photo. 3 혼합기체 다이빙 조정반

3) 다이빙 헬멧(diving helmet)

Photo. 4에서 나타낸 다이빙 헬멧은 산업 잠수사에게 최종적으로 호흡 기체가 전달되는 곳으로 내부에는 양방향 통신장비가 설치되어 있으며, 수중 조명 및 비디오 카메라를 외부에 부착할 수 있도록 되어 있으며, 가장 중요한 역할 중의 하나로서 산업 잠수사의 체온 유지 및 두부 손상 방지를 위한 가장 기초적인 장비이다.



Photo. 4 다이빙 헬멧

4) 엄빌리컬

Photo. 5에서 나타낸 엄빌리컬(umbilical)은 산업 잠수사의 생명줄이라고 할 수 있으며, 산업 잠수사가 숨을 쉬게 하는 혼합기체 및 공기를 공급할 뿐 아니라 통신 케이블, 조명 케이블, 비디오 케이블, 수심 측정용 호스 및 인양 로프 등이 들어 있다. 필요에 따라 기타 호스나 케이블을 부착하여 사용할 수 있으며, 이러한 기능 이외에 산업 잠수사의 위치 파악에 도움이 되며 상승 및 이동시에 지상에서 산업 잠수사를 도와 조절할 수 있다.



Photo. 5 엄빌리컬

5) 다이버 이송장치

Photo. 6은 다이버 이송장치(LARS : launch and recovery system)를 나타낸 것으로 이는 대심도에서의 산업 잠수사의 원활한 이동을 위한 시스템으로 최대 3명을 수용할 수 있다. 비상용 호흡 실린더를 설치하여 비상시에 대처할 수 있는 시스템으로 수중 감압이 필요한 경우에는 매우 안전하게 감압을 수행할 수 있게 도와준다.



Photo. 6. Launch and Recovery System

6) 혼합기체 공급 시스템

Photo. 7은 혼합기체 공급 시스템을 나타낸 것으로서 대심도에서 다이빙하기 위하여 사용되는 각종 잠수용 산업가스를 공급하는 시스템이며 다량의 산업가스 용기로 구성되어 있다. 예정된 다이빙 수심에 따라 계산된 비율의 혼합기체를 고압탱크에 충전시켜 지상에 설치하고 압력조절기(regulator)를 거쳐 고압호수로 혼합기체 조절장치에 연결되며, 혼합기체 조절장치에서 산업잠수사에게 호흡 기체를 공급한다.



Photo. 7 혼합기체 공급 시스템

7) 산업잠수 장비의 지원 시스템

Photo. 8은 산업잠수 장비의 지원 시스템을 나타낸 것으로서 이것은 저압 콤프레셔, 고압 콤프레셔, 유압 시스템 등으로 구성되어 있고, 원활한 주 기체 공급 및 보조 기체를 공급한다. 또한 유압 시스템을 설치하여 원활한 수중용 원치, 공구 등의 동력을 제공하는 시스템으로 일반 공구용 콤프레셔와는 다르게 콤프레셔 오일은 다이빙 전용 콤프레셔 오일을 사용한다. 콤프레셔의 용량은 다이빙 수심과 산업 잠수사 수에 따라서 계산하고 충분한 용량의 콤프레서를 사용해야 한다.



Photo. 8 산업잠수장비 지원 시스템

2. 3. 3 잠수시스템

수면에서 공급하는 혼합기체 잠수에는 일반적인 공기잠수 시스템과는 다르며, 그 구성 체계는 Fig. 2와 같은 형식을 기본으로 하고 있다. 이것은 혼합기체 잠수에서 가장 중요한 부분이며 가장 주의를 요하는 부분은 혼합기체 조절 장치이다. 호흡 기체의 변환 시에 생기는 물리적 현상에 대한 이해를 필요로 하며, 반드시 인증 받은 인원만이 취급하여야 한다. 해당 수심에서의 체류시간에 비례한 혼합기체의 필요량과 응급 시에 필요로 하는 예비량에 대한 정확한 계산이 꼭 필요하다. 혼합기체 잠수 이후에 이뤄지는 감압 챔버에서는 증상에 따른 올바른 조치 방법을 숙지해야만 하고, 잠수 이후에 해당 인원 에 대한 변화 상태를 계속 주시해야 한다.

Table 3은 수심 50m에서 잠수작업을 수행 할 경우에 대한 최적 다이빙 시간 및 감압시간을 나타낸 것으로, 혼합기체 다이빙의 경우는 공기 다이빙의 최대시간보다 20분을 더 작업할 수 있으며, 감압시간도 공기 다이빙에 비해 매우 적은 것으로 나타났다.

수심 50m 다이빙은 대심도 다이빙에 속하며 최적의 안정성과 효율을 반영한 다이빙 시간은 다음과 같고, 단발적인 작업이 아닌 일정기간 유지되는 심해 잠수작업을 일반 공기 다이빙으로 운영하면 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다.



Fig. 2 수면 공급식 심해잠수 시스템 개요도

1) 2인 1조 운영 시에는 1개조가 감압 중일 때 다음 다이빙을 진행하기 어렵다. 따라서 작업효율은 1일 12시간 기준일 때, 작업 가능한 시간은 약 4시간이다(혼합기체 : 9시간 30분).

Table 3 수심 50m 최적 다이빙 및 감압시간

	공기 다이빙	혼합기체 다이빙
최대 다이빙 시간	40분	60분
수중 감압 시간	85분	15분

2) 수중 감압시간이 85분으로, 산업 잠수사는 수중에서 2시간 5분을 보내야 하며 이는 저 체온증을 유발할 수 있는 요인이 된다.

3) 장비 고장 등으로 산업 잠수사가 비상용 탱크를 사용하는 경우에 비상용 탱크의 용량은 수중 감압을 완전히 이행할 수 있을 만큼의 에어를 포함하지 않는다. 따라서 긴급 상승으로 인한 잠수병 등의 위험이 있으며, 현장에 감압 챔버를 보유하고 있지 않다면 인명사고로 이어질 수 있는 위험이 있다.

위와 같은 문제점들을 포함하고 있는 현재의 국내 여건상 심해에서 수행되는 각종 구조물 설치 공사에서는 반드시 감압 챔버 및 이를 운용할 수 있는 인원의 배치를 통하여 안전한 심해 잠수 작업이 수행할 수 있도록 제도적으로 뒷받침할 수 있어야 할 것이다.

3. 잠수 관련 사고 분석

국내의 산업 잠수와 관련된 사고는 기록으로 남겨진 것이 거의 없으나, 최근(2003년)의 한국 잠수 응급 구난망에서 자체적으로 치료한 자료를 토대로 분석해 보기로 한다. 그리고 본 논문에서는 영국 BSAC(British Sub Aqua Club)의 통계 자료를 기반으로 해외 자료를 분석하였다⁸⁾.

3. 1 국내 잠수관련 사고

국내의 경우는 해외에서 정의하는 산업잠수의 범위보다 제한된 스쿠버 다이버, 잠수사, 해녀 또는 후카 작업에 의존한 산업 잠수사의 경우가 대부분을 차지한다. 최근에는 강원도의 경우에 예산 1,000만원을 지원하여 기존 어업인을 대상으로 치료를 실시한 적이 있다. 이는 현업에 종사하고 있는 잠수 어업인 총인구 700여 명에게는 좋은 소식이 아닐 수 없다. 강원도 내에서 추정하고 있는 잠수 어업인들의 인구는 697명(산업잠수사,138명, 기타,559명)이다. 성별로는 남자 339명, 여자가 358명으로서 이중 잠수병을 호소하고 있는 어업인은 150여명이 넘는 것으로 파악되고 있다. 이에 따라 환동해 출장소는 잠수치료 장비인 고압 챔버를 보유하고 있는 한국 폴리텍 III대학 강릉 캠퍼스와 전문의가 있는 강릉 동인병원의 협조를 받아 X-Ray 및 상단진료, 기흉 확인 등의 검사를 수행하였으며, 2003년 감압병 치료와 관련하여 정량적 통계 기법을 사용하여 다음과 같은 결과를 나타내었다.

1) 감압병 형태에 따른 조사

감압병 형태는 Table 4와 같이 I 과 II형으로 구분되며 I 형 감압병에는 피부 부종 및 관절 증상 등으로 분류되며, II형에는 신경계 증상, 심장 및 호흡계 증상 등으로 분류된다.

감압병 형태 I 의 경우 Table 4에서 나타난 바와 같이 남자는 109명, 여자는 83명으로 분석되었고, 감압병 형태 II의 경우는 남녀가 각각 124명과 114명인 것으로 분석되었다.

Table 4 감압병 형태에 따른 남녀 구성 비율

감압병 형태	남	여
I	109	83
II	124	114

2) 호흡방식별

호흡방식에 의한 감압병 환자를 분류한 결과 Table 5와 같은 결과가 나타났다.

Table 5 호흡방식에 따른 분류

방식 별	스쿠버 다이빙	후카 시스템	스킨 다이빙
산업 잠수	35	31	-
스포츠 잠수	42	-	-
해녀	-	-	9

3) 연령별

연령대에 따른 감압병 환자를 분석한 결과 Table 6과 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 30~40대에서 환자가 많은 것으로 분석되었다. 연령대에 따른 남녀 구성 비율을 살펴보면, 30대에서 남자가 여자에 비해 매우 큰 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 남자의 경우 실제 잠수산업에 종사하는 비율이 높고 비교적 여자 보다는 강도 높은 작업을 수행하기 때문인 것으로 사료된다.

Table 6 연령별 분류

구분	20세~29세	30세~39세	40세~49세	50세 이상
남	11	38	24	5
여	1	2	26	10

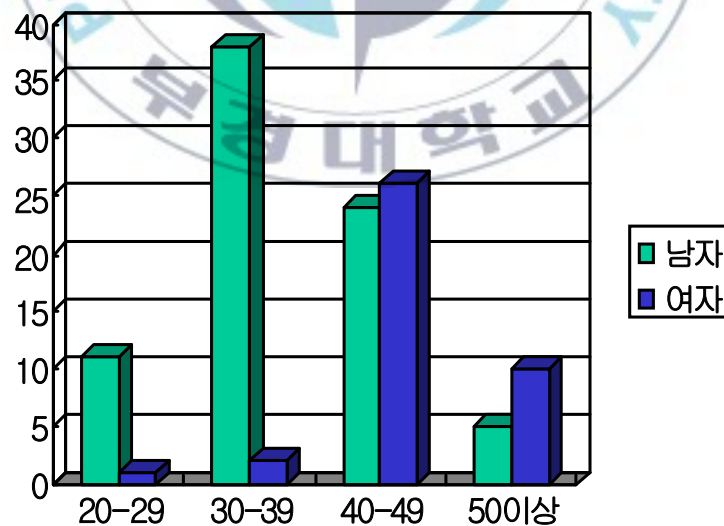


Fig. 3 연령별 남녀비교

4) 감압병 환자의 특징

감압병을 앓고 있는 환자를 대상으로 환자들의 증상 및 징후를 분석한 결과 관절통이 가장 높은 것으로 나타났고 다음으로 두통, 피부증상, 근육통, 가슴 통증/호흡곤란, 전신마비, 하지 허약 등으로서 Table 7과 같은 순으로 나타났다.

Table 7 증상 및 징후

발생빈도 높은 순	증상 및 징후
1	관절통(어깨, 팔꿈치, 손가락, 무릎, 발목)
2	두통/어지러움/오심/구토
3	피부증상(통증/발진, 감각이상, 부종)
4	근육통(다발성/하지/이동성)
5	가슴통증/호흡곤란 = 피곤감/전신무력감
6	전신마비/하지마비/장 마비
7	하지 허약/시력장애/말초신경장애
8	쇼크/의식상실
9	복통/후두부 통증 = 감각이상 = 소변/대변 장애
10	전신부종/하지부종
11	신부전증, 뇌졸중, 이압성 골괴사

위의 통계치를 조사해 본 결과, 국내의 잠수관련 사고는 대부분 잠수업체 또는 개인들의 무관심 때문에 초기 예방이 전혀 되지 않은 상태에서 그 증상 및 징후가 발전되어 간 것을 알 수 있었다. 또한, 후카 위주의 국내 산업 잠수환경에서 적절한 안전관리 시스템이 정착되지 않는 점도 이러한 사고

발생과 무관하다고 할 수 없다고 본다. 이와 비례하여 발생하는 산업 잠수 사고는 대부분 산업 현장의 잠수 관련 안전 절차 및 잠수 절차가 확립되지 않은 채 수행되면서 발생하는 사고가 대부분이라 보여진다.



3. 2 해외 잠수관련 사고

영국의 안전보건청(The Health and Safety Executive: HSE)의 경우에는 산업 잠수는 매우 위험한 직업으로 인식하고 그 분류상 "매우 위험(high hazard)"으로 구분하고 있다. 통계상 인명사고율은 타 업계와 비교할 때 Offshore/ Inland/ Inshore에서 작업인구 100,000명 당 20~40명의 사고 보고가 있었으며 이것은 상대적으로 매우 높은 수치를 나타내고 있다.

해외 산업잠수업계에서도 업계자체의 사고발생 건수를 보고하는 것을 주저하는 분위기 때문에 정확한 데이터로서 신뢰할 수 있다고 할 수 없으나 본 논문에서는 보도된 자료를 토대로 분석하였다. 산업잠수 사고분석에 앞서, 외국의 스쿠버 다이빙의 사례를 먼저 살펴보기로 한다.

3. 2. 1 스쿠버 다이빙 업계 통계분석⁹⁾

영국 소재 BSAC(British Sub Aqua Club)의 누적 데이터를 기준으로 분석하기로 한다. Fig. 4와 5에 나타난 바와 같이 영국의 제한된 지리적 조건하에서 지난 16년 동안의 누적 결과를 볼 때 최근의 경향은 90년대의 결과치의 2배가 되는 것을 볼 수 있다. 보고된 자료의 분포치가 보여 주듯이, 스쿠버 다이빙은 계절적 특성과 비례하여 여름철에 집중되어 발생하는 것을 볼 수 있다.



Fig. 4 BSAC의 년도별 사고 발생수

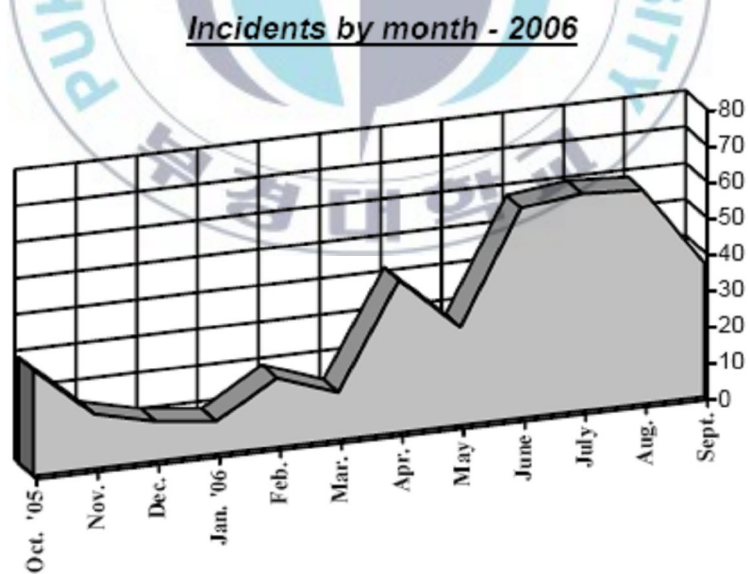


Fig. 5 BSAC의 월별 사고 발생수

그리고 발생 유형별로 9가지로 나누면 Table 8과 Fig. 6은 같다. 가장 발생 빈도가 높은 순으로 살펴보면 감압병과 관련된 사고가 105회로 가장 많은 빈도를 나타내었으며, 이전 년도에 발생되었던 것도 유사한 형태를 보여주고 있다. 그 다음 순서는 급상승과 관련된 것이며 99회로 해마다 증가되는 것을 볼 수 있다. 이는 초심자 및 숙련자 모두 나타나는 형태로 미숙함과 과신에서 오는 결과로 볼 수 있다.

Table 8 사고발생 유형

발생빈도 순	사고발생 유형
1	감압병의 형태
2	급상승
3	선상에서의 발생
4	상해 및 질병
5	장비 결함
6	치명적 상해/죽음
7	기타
8	기술적 결함
9	해외

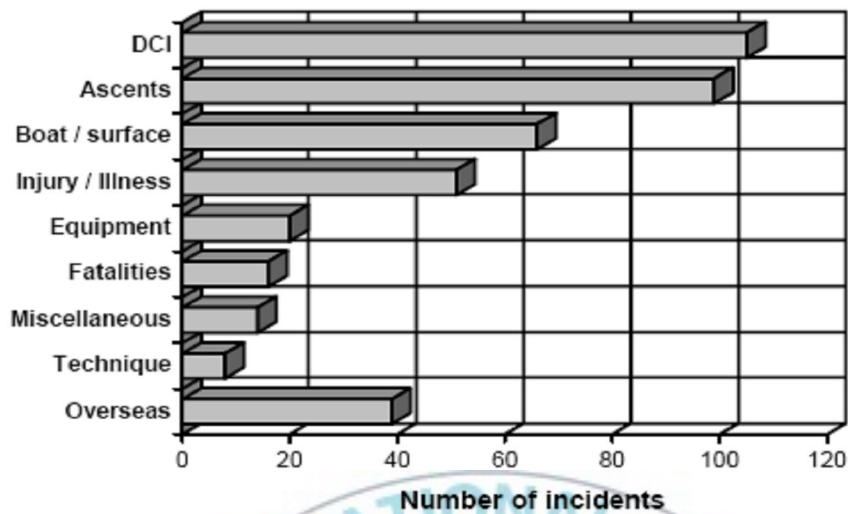


Fig. 6 발생 유형별 사고 발생수

Fig. 7에 나타난 바와 같이 발생 수심 별 사고발생 숫자를 보면, 대개 21-30미터 사이에서 많이 발생하는데 이는 스쿠버 다이빙 특성상 발생 수심에서의 다이빙이 흔하게 이루어지기 때문이다.

또한, 스쿠버 다이빙에서는 수심 35미터 이상에서의 일반 공기 다이빙을 허용하지 않음에도 불구하고 해당 수심에서 발생하는 것은 교육 부재 및 인정 받지 않은 채 이루어져 사고로 이어지는 사례임을 알 수 있다.

치명적인 손상을 보인 사례를 살펴보면, 지난 10여 년간의 추이에서 평균 17.7건의 사상 및 사망 사고로 이어지는 것을 볼 수 있다. 대개의 경우, 심장 마비, 부력 조절 실패, 단독 다이빙, 호흡 기체 완전 소모 등과 관련하여 수중 체류 시간을 완전히 소모한 이후 발생하는 것을 보여준다. 이러한 결과는 급 상승으로 이어져 치명적인 폐압착증 등의 감압병 형태로서 사상 및 사망에 이르게 된 것으로 추측할 수 있다.

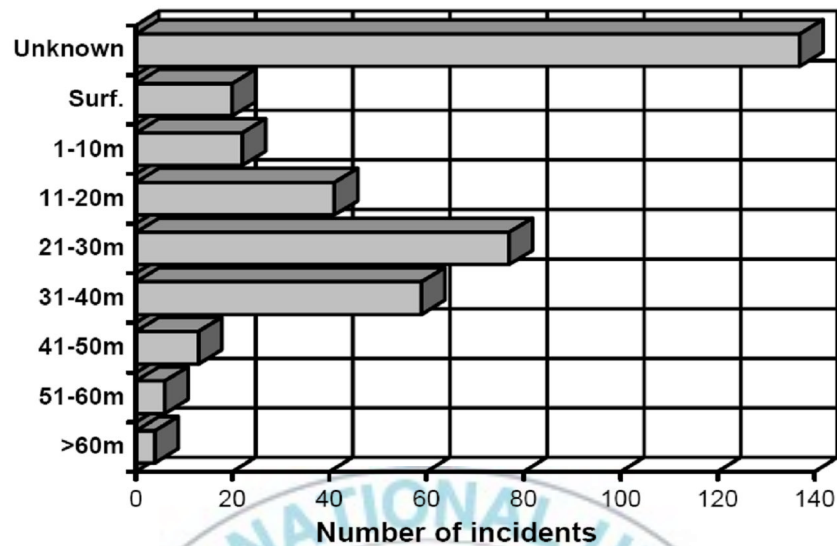


Fig. 7 발생 수심별 사고 발생수

감압병과 관련된 사고를 분석해 보면, 대부분 30미터 이상에서의 다이빙에서 주요 발생 빈도(총35건)를 차지하고 있으며, 그 다음에는 급상승으로 인한 건수가 다음 순위를 이어지고 있다. 이는 잠수인원의 급증으로 인하여 해당 점유율이 증가하는 것도 한 요인으로 보이나, 발생 형태별에서 나타난 바와 같이 급상승으로 인한 것이 주요 원인으로 볼 수 있다. 국내에서도, 후카방식의 재래적인 잠수 형태에서 작업중 호스의 협착 등이 발생되어 급상승하는 경우가 빈번하다고 한다. 이 경우에 발병되는 감압병 초기 증상이 장기적인 잠수 작업의 형태로 이어져 감압병이 심각한 상태로 발전되기도 한다.

3. 2. 2 산업잠수 업계

산업 잠수에서 대부분의 사고는 내적 요소인 잠수기술절차에 대한 이해도 부족, 작업 공중별 위험요소 인식 및 분석(job hazard identification & analysis)의 인식도, 안전의식 부족이나 위험한 작업 요인으로 인하여 발생되는 것이 대부분이며, 이와 같은 사고는 보다 안전한 시스템의 구축, 잠수기술 발전 및 안전의식 제고 등으로 충분히 극복할 수 있다고 보여진다. 다음은 유해 요소가 무엇인지에 대해 나열하여 보고, 산업 잠수 현장에서 일어날 수 있는 원인별로 간략하게 나타내었다. 그리고 국내 및 해외의 실제 사례를 보고 그 발생 유형 및 원인에 대해 분석하여 보기로 한다.

1) 유해 요소 별

유해요소별로 가능한 위험에 대한 항목을 다음 Table 9와 같이 구분하여 나타내었다.

2) 원인 별

아래에서 나열하는 산업잠수 사고의 원인별 형태를 보면 대체로 산업 잠수사의 인식부족 등에 의한 인적 요소 및 산업잠수 장비의 열악화 등에 의한 물적 요소로 나눌 수가 있다.

(1) 공기 공급 중단

저압 컴프레서의 고장으로 인한 순간적인 공기의 공급중단(blockage)현상이지만 대부분의 업체에서는 고압 실린더 및 비상용 공기 시스템을 가동시켜 산업 잠수사에게 영향이 없도록 하고 있다. 재래 방식의 후카 시스템에서는

자주 발생하는 사고 유형이다.

(2) 통신의 두절

수중 및 육상간의 통신은 엄빌리컬내 통신 케이블에 의해서 행하여지나, 대부분의 경우에 헬멧과의 접촉불량으로 통신 두절(communication malfunction)에 의해 발생하는 것이 대부분이다.

Table 9 유해 요소별 항목

부적절한 취급	화학 물질/오염 물질
제한 구역에서의 출입	유독 기체 호흡
전도, 추락 위험	먼지, 습기 외
수작업에 의한 중량물 취급	탄화수소
제한된 공간 내에서의 작업	방사선
저 산소 환경	발화성 물질
유독 물질 및 폐쇄 공간	소음
기계적 요소	진동
기계 장치 및 이동 장치에 의한 위치 이동	전기적 요인
크레인에 의한 중량물 이동	고소 작업 및 하부 작업
	불안정한 상태의 작업
꼬임 현상	폭발
추돌 현상	기후 상태
절단, 관통	박테리아, 바이러스 등 생물학적 요인
전단 변형	크레인 작업
고압수 및 고압유	구조물의 충돌
유체의 이탈	조명 기구 위치
고압 및 진공 현상	부적절한 세팅 상태
선박의 급격한 움직임	반복적인 구조적인 피로
고기압(저기압)하에서의 작업	용접 및 그라인더의 불꽃

(3) 엮릴리컬이 걸리거나 잠수사가 갇힌 경우

수중의 인양작업 및 구조물 설치 시에 외부 구조물이나 바지선 하부 구조물에 엮릴리컬이 엉키거나 다수의 산업 잠수사가 입수하여 동시작업 수행시에 간혹 잠수사가 갇힌 경우(entrapment)가 발생하는 형태.

(4) 수중에서 산업 잠수사의 급부상

수중에서 산업 잠수사가 부상당할 수 있는 경우로서 중량물의 해체/절단 시에 수상 크레인 조정자의 실수로 인한 과다이동 및 수중 산업 잠수사의 조작미숙 등으로 인하여 잠수사의 급부상(ascent) 생기며, 손부위의 부상이 대부분을 차지한다.

(5) 다이빙 엮릴리컬의 손상 및 단절

극히 드문 경우이지만 엮릴리컬이 손상될 가능성도 배제할 수 없다. 예를 들어, 철골 구조물의 모서리에 꺾여서 손상 및 절단될 사례를 볼 수 있다. 하지만, 산업 잠수사는 비상용 실린더 및 통신 시스템을 이용하여 이상 발생 즉시 예비 산업 잠수사의 도움으로 구조된다.

(6) 공기호스의 파손

기체 공급 호스의 노후화에 따른 호흡 기체 공급의 급감으로 인하여 산업 잠수사의 호흡 곤란을 일으킬 수 있다. 이 경우 사전 체크 리스트를 통하여 문제점을 제거할 수 있다.

(7) 장비의 화재발생

1970년대 초반에 감압 챔버내에 화재발생 가능물질을 소지하고 감압절차를 수행 중에 감압 챔버가 폭발하는 등의 사고가 일어났다. 그 당시의 챔버 운전자 및 산업 잠수사의 의식 부족으로 인하여 발생한 인재로서, 그 이후 안전관리가 강화되어 이후 동일한 사고가 일어나지 않았다.

(8) 의도하지 않은 산업 잠수사의 사고 상승 및 비상시 긴급 상승에 의한다.

(9) 감압의 생략(omitted decompression)에 기인한다.

(10) 다이빙 진행 중 장비의 고장(malfunction)에 기인한다.

국내의 산업 잠수와 직접적으로 관련된 공식사례는 찾기가 쉽지 않았지만, 본 논문 작성 준비 과정에서 수집한 각종 자료를 기반으로 발생 유형을 살펴 보았다.

2002년 인천 인근해역의 방파제 축조 공사 도중에 산업 잠수사가 사망한 경우를 보면, 현장 기상 상태가 급작스럽게 악화되어 철수하던 중, 수심 35m에서 작업 중인 산업 잠수사가 마지막 TTP 블록을 거치하고, 상승하던 중에 호흡공기를 공급하던 후카호스가 바지선 및 예선 사이에 협착되어 절단되면서 잠수사가 급상승하였으나 익사하여 사망한 사고이다. 불행하게도, 작업자는 비상용 호흡 실린더를 착용하지 않은 상태였으며, 바람, 조류 등의 환경적 요인 또한 불리한 요인으로 작용하였으며 기본적으로 후카 시스템을 사용하여 불안정한 잠수 시스템에서 수행하는 것이 주요 원인으로 작용했다고 볼 수 있다.

미국의 산업 잠수와 직접 관련된 정부 기관 보고 자료를 분석하면 제반 법령 및 안전 관련 조항은 1996년에 발표된 미국 연안 경비대(U.S Coast Guard)의 조사 보고서이다. 이 보고서에는 기존 산업 잠수 법령과 자체 사고 조사반 요원들에 대한 개선을 위한 것이었다. 이것은 23세의 브라이언 필킨턴(Brian Pilkington)조사관이 조사 도중에 순직한 것을 조사하면서 그 안전 대책에 집중하게 되었다.

해당 보고서에는 미국 연안 경비대가 관할하고 있는 자국의 산업잠수 업무에 국한하여 해상 안전 전문가, 산업안전위생관리청(OSHA) 및 관련 업계 측의 요구사항들에 대해 검토하고 법령의 개선 방향에 대해 논하고 있다. 또한, 자체 조사 팀의 조사 방법에 대한 개선을 위한 개발된 훈련 프로그램을 개발하였다.

그 이후에 산업 잠수 법령 및 검사 방법의 개선 제안인 ANPRM 46 CFR 197(1998년 6월)가 발의되었다. 이는 산업 잠수 관련 안전 및 제반 법령에 대한 개정안에 대한 전반적인 내용을 포함하고 있으며, 대부분의 미국 잠수업 협회(ADC: Association of Diving Contractors)의 회원사들, 인양 및 예인 업체들에게 통보된 사항은 다음과 같다.

산업 잠수에 적합하며 유효한 신체검사가 이루어 져야 하고 산업 잠수와 관련된 전문 교육 및 업체의 합법적인 영업 등록증, 잠수팀의 자격 요건 충족, 안전 관리 대책 및 비상시 조치 절차 등의 내용을 포함하고 있다. 1998

년에 발의된 상기 법안은 2002년도에 정식으로 법적효력을 가지게 된다. 이는 미국 연안 경비대 내의 산업잠수의 안전관리와 관련하여 의식전환 및 법령 개정 및 보완으로 2001년 텍사스 만에 소재한 산업 잠수 관련 업체의 안전 관리자, OSHA의 중간 관리자를 대상으로 개정된 사항과 OSHA의 제정 법령과의 차이점에 대해 집중적인 토론이 이루어 졌다. 미국 연안 경비대 본부(Coast Guard headquarters)는 관할 구역 내에서 발생한 산업잠수 사고에 대한 전반적인 조사를 포함하고 있다. 미국 연안 경비대에 접수된 자료를 기반으로 1996년 10월부터 2000년 10월까지의 자료를 분석하였을 때, 6건의 사망사고 및 6건의 상해 사고가 발생되었으며, 년도 별 추이는 아래 Table 10과 Fig. 8에 나타낸 바와 같다.

Table 10 미국 연안 경비대 사고 발생수

년도 구분	1996	1997	1998	1999	2000
사 망	1	0	2	2	1
상 해	2	1	1	0	2

사망 사고의 경우, 대부분이 안전 관리가 미흡한 채 작업이 수행 된 사례가 대부분이었다. 예를 들면, 수중 절단시에 상부기체의 토출부가 규정보다 작아 기체집중으로 인한 폭발 사고, 오일 플랫폼에서의 수중 고압수의 세척도중에 전단 토출노즐의 이탈로 인하여 잠수사의 상해가 발생하여 의식 불명의 상태가 되어 수상으로 이동 중 쇼크사로 사망하는 등 안전 수칙 불이행 및 사전 장비 테스트의 미비로 인한 사고가 대부분을 차지하였다.

상해의 경우, 대부분이 손가락 절단 및 복부부의 상해의 순으로 작업 특성 상 오일 플랫폼 및 선박 위주로 수행되어 각종 유압 시스템 운용 및 고압수와 관련된 시스템의 운용 중 발생한 경우가 많았다.

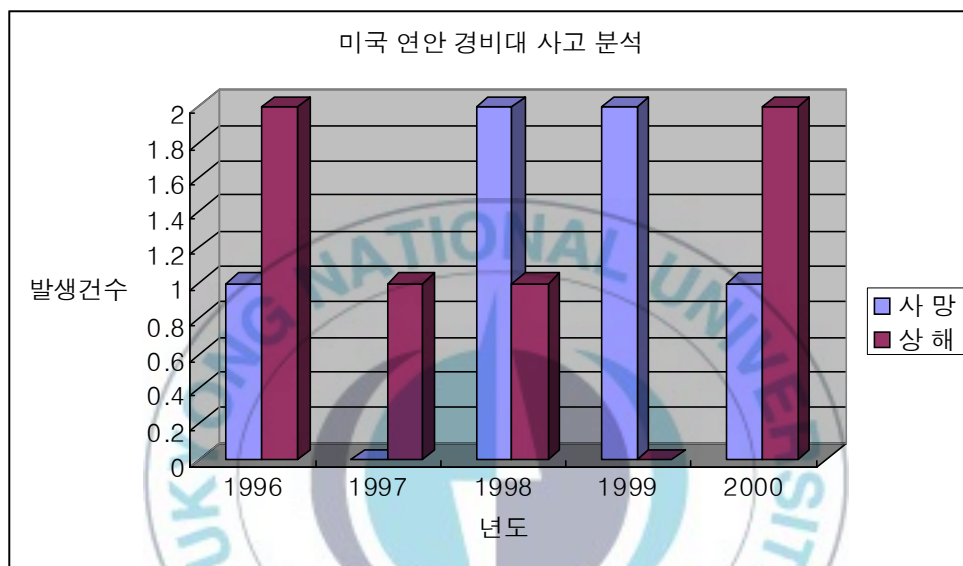


Fig. 8 미국 연안 경비대 사고 분석

상해 사고 중에는 고압수 시스템(high pressure water blasting)을 운용하던 중에 발생한 사례를 자료 및 경위에 대해 분석하였다¹⁰⁾. 이 사고는 수심 35m에서 오일 플랫폼의 하부 구조물의 청소 및 검사를 위주로 수행하던 프로젝트였다. 해당 프로젝트 수행시에 새롭게 선보인 장비의 운용에 대해 사전 교육 및 위험 요소 인식 절차를 거친 후 작업에 투입되었지만, 위험 요소 인식에서 간과한 부분에서 문제가 발생되어 잠수사의 손목 부위에 상해를 입힌 사고이다. 1500 psi의 초고압으로 고압수를 전,후 방향으로 토출 하는

방식으로 전방 방향은 직접 구조물에 접촉하는 부분이고, 후방 방향은 수중에서 잠수사가 균형이 맞도록 하기 위하여 같은 압력으로 토출 시키는 방식이다. 이러한 초고압수 세척 시스템을 운용하면서 잠수사가 방향을 바꾸기 위하여 이동하면서 분사 스위치를 눌러 잠수사의 손목 부위 및 가슴 부위를 강타해 상해를 입힌 사례이다. 사고 즉시 잠수사는 수상으로 올려져 인근 병원으로 호송하여 치료하였다.



4. 잠수작업환경 위험도 인식 및 신체증상

4. 1 잠수작업 설문 및 분석

본 연구에서는 잠수작업환경에 대한 위험도 인식 및 잠수작업 중이나 작업 후의 신체증상에 관한 설문을 잠수 작업자를 대상으로 실시하였다. Table 11에서 나타난 바와 같이 부산을 포함하여 진해, 울산, 서울, 통영, 경주, 포항, 충청남도 태안, 경상남도 거제, 전남고흥, 인천, 고리 및 전북의 현장에서 작업하고 있는 잠수작업자를 대상으로 설문지를 배포하여 총 62부를 회수하였으며, 이를 대상으로 설문분석을 실시하였다. 비교적 설문을 배포한 지역의 수는 다양했지만, 현장마다 잠수작업자의 수가 많지 않았기 때문에 회수된 설문지는 적었다. 총 설문지 수가 전체적인 산업 잠수사의 구체적인 상황을 대변하기에는 부족하다고 느끼지만, 연령별 산업 잠수사의 전반적인 현황을 파악 하고, 그 의식구조를 이해하는데 기초적인 연구 자료로서의 역할을 할 수 있을 것이라 기대한다.

Table 11 설문배포현장 및 회수된 설문지 수

현 장	부산	진해	울산	서울	통영	경주	포항
회수된 설문지 수 (48부)	10	9	12	5	7	3	2
현 장	태안	거제	고흥	인천	고리	전북	
회수된 설문지 수 (14부)	1	3	2	1	6	1	

설문에 응답한 근로자들의 경력에 대한 분석을 실시한 결과, 평균경력은 15년인 것으로 나타났으며 이 중 10년 미만의 경력을 가진 근로자는 20명, 10년 이상 20년 미만의 경력을 가진 근로자는 20명 그리고 20년 이상의 경력을 가진 근로자는 22명인 것으로 각각 나타났다.

잠수작업자의 나이에 따른 위험도 인식 및 잠수관련 질환에 대한 연관성을 알기위해 나이에 대한 분포를 분석한 결과, 평균 나이는 40세 인 것으로 나타났다으며 30세 미만이 7명, 30세 이상 40세 미만이 27명, 40세 이상 50세 미만이 16명 그리고 50세 이상이 12명인 것으로 나타나 30대에 작업자가 타 연령대에 비해 비교적 많은 수를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 30대 이상이 88%를 차지하고 있으며 20대의 젊은 연령대는 12%에 불과하여 젊은 층의 분포가 다소 얇은 것으로 조사되었다. 이는 향후 산업 잠수 업계에 영향을 끼칠 수 있다고 볼 수 있으며, 나아가서 대내외적 경쟁력 확보에 어려움이 될 수 있다고 사료된다. 이를 강화하기 위해서는 해당 업계 및 해당 정부당국의 제도적 지원 등의 장기적인 안목에서 접근할 필요가 있다고 본다.

4. 2 잠수작업 설문결과

본 연구에서는 잠수작업에 대한 위험도 인식과 잠수작업 중이나 작업 후의 신체증상에 관한 설문으로 크게 두 가지의 대분류 내 세부 문항에 관한 설문

을 분석하였고 두 가지의 대분류 내 세부항목들에 대해 SAS system version 9.1을 이용하여 통계적 분석을 실시하였다.

4.2.1 잠수작업에 대한 위험도 인식관련 설문결과

(1) 잠수병 또는 잠수질환의 위험성 인지에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 잠수병 또는 잠수질환의 위험성을 알고 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 9와 같이 자세히 알고 있는 경우가 62부 중에 35부로써 57%를 차지하였고, 알고 있는 경우가 22부로써 35% 그리고 조금 알고 있는 경우가 5부로 8%로 나타났다. 반면, ‘모른다’와 ‘관심없다’에 대한 항목에 응답한 경우 없는 것으로 나타나 대부분의 잠수 근로자들은 잠수병 또는 잠수질환의 위험성에 대해 비교적 잘 인지하고 있는 것으로 나타났다.

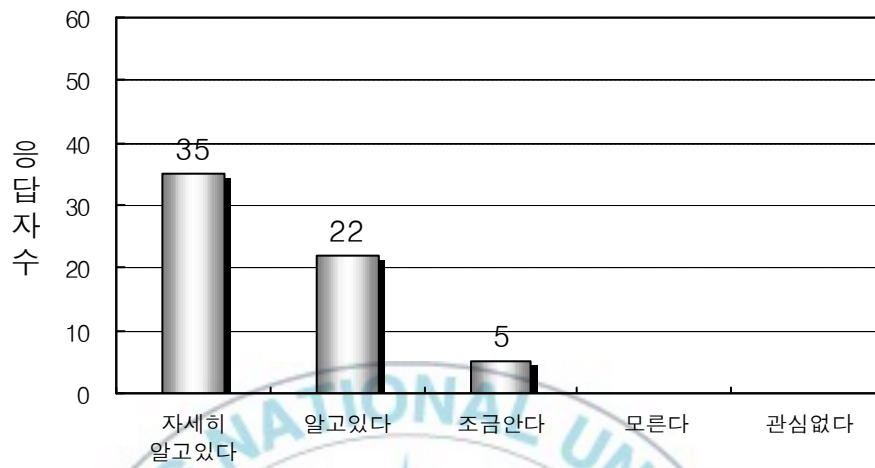


Fig. 9 잠수병 또는 잠수질환의 위험성에 관한 인지정도

(2) 다른 건설공사 또는 제조공정 보다 잠수작업 위험 정도에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 타 공사 및 공정에 비해 어느 정도 위험한지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 10에서 나타난 바와 같이 ‘아주 높다’ 라는 응답한 수는 40부로써 총 62부 가운데 64%로 나타났고, ‘조금 높다’ 라고 응답한 수는 14부(23%), ‘비슷하다’ 라고 응답한 수는 4부(6%)로 나타났으며, ‘낮다’ 와 ‘많이 낮다’ 는 각각 3부와 1부로 나타나 대부분의 잠수작업자들이 자신들이 수행하고 있는 작업이 다른 위험한 공사들에 비해서도 더 위험한 것으로 생각하고 있는 것으로 나타났다.



Fig. 10 타공사에 비해 잠수작업 위험의 정도

(3) 동일 급여 지급 시 이직에 관한 사항

다른 직업에서 동일한 임금(급여)을 받을 수 있다면 전문 잠수직업을 그만둘 수 있느냐는 설문을 실시한 결과 Fig. 11에서 나타난 바와 같이 총 62부 중에서 ‘예’ 라고 응답한 수는 31부로 50%로 나타났고, ‘아니오’ 와 ‘모르겠다’ 라고 응답한 수는 각각 19부와 12부로 나타나 전문 잠수작업자들은 현재의 일을 그만 두고 싶다는 비율이 비교적 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과가 나타난 것은 잠수작업에 종사하는 근로자의 경우 어려운 여건에서 힘들게 작업하고 있다는 것을 추정할 수 있으므로, 사업주들은 작업환경개선과 더불어 근로자 처우개선에 더욱 관심을 가져야 할 것으로 판단된다. 잠수부의 노무 단가(건설연구원 표준품셈)의 상승폭 및 위험도에 대한 상대적인 할증폭이 현실 수준에서의 비합리화되어 있으며, 공사비 산정시 개별 공수 투입에 의존하는 재래적인 적용 방식에 의한 수주 업무가 진행되어 상대적으로 실수요자인 산업 잠수사에게 돌아가는 임금 수준이 낮을 것으로 평가 되는 것으로 유추할 수 있다. 국제적인 단가 기준인 일대 및 시간대 요율로서 국내에서 적용하기에는 무리가 있을 수 있다고 볼 수 있지만, 국제적인 경쟁력을 가지기 위해서는 인원/ 장비에 대한 대대적인 개편 및 투자가 밀반침되어야 이러한 임금 문제의 대안으로 제시되어야 할것으로 판단된다.

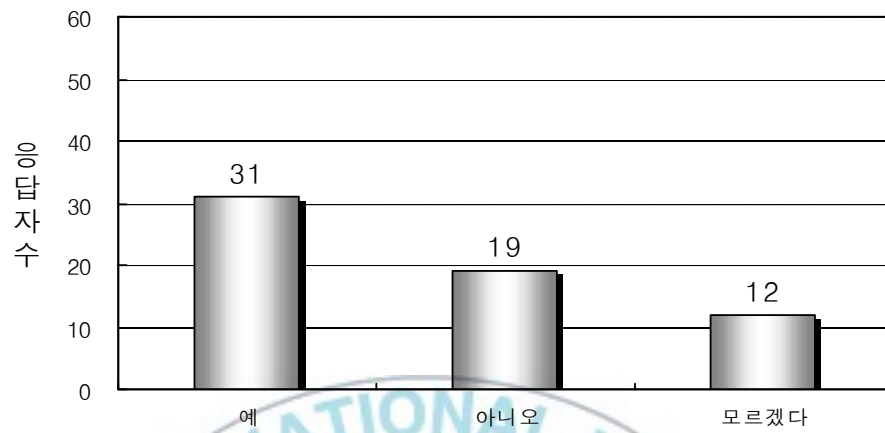


Fig. 11 동일 임금(급여) 지급 시 이직 여부

(4) 잠수횟수 및 시간감소에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 임금(급여)이 줄어들더라도 감압병 등 잠수에 의한 질병을 예방하기 위해 잠수 횟수 또는 시간을 줄이거나 잠수 깊이를 얕게 할 의향이 있는지에 관한 여부를 설문한 결과 Fig. 12에서 나타난 바와 같이 총 62부 중에서 ‘예’ 라고 응답한 수는 36부로 58%로 나타났고 ‘아니오’ 및 ‘모르겠다’ 라고 응답한 수는 각각 16부와 10부로 나타났다. 이는 공사 기간 내에 공사를 마무리하여야만 하는 현장 특성에 기인한 것으로 공사 계획단계에서부터 작업회수와 작업시간의 적정성을 고려할 필요가 있으며, 추후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 현장내 기본적인 감압 챔버의 설치 운용에 대한 제도적 기준이 확립된다면 잠수 시간에 쫓기면서까지 작업해야만 하는 어려움에 대한 대안을 확보하는 것이 필요하리라 판단된다.

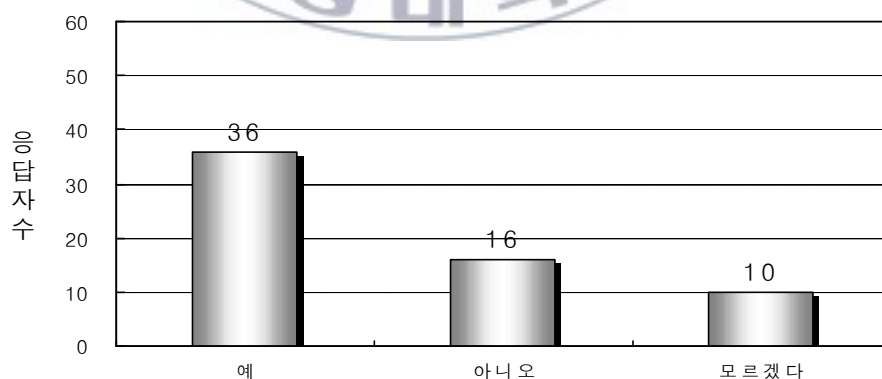


Fig. 12 잠수 횟수 또는 시간 감소 여부

(5) 규정된 정기 또는 특별안전보건 교육에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 산업안전보건법에 규정된 정기 또는 특별안전보건교육을 받고 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 13에서 나타난 바와 같이 ‘정기적으로 받음’으로 응답한 수는 총 62부 중에 11부(18%)로 나타났고, ‘몇 번 받은 적 있음’으로 응답한 수는 32부(52%)로 가장 높은 응답률을 나타냈으며, ‘알고 있으나 받은 적 없음’ 및 ‘처음 들어봄’으로 응답한 수는 각각 6부와 13부로 나타났다. 이는 잠수 작업에 관한 교육이 현재 제대로 이루어지고 있지 않는 것으로 사료되므로 잠수사고를 예방하기 위하여 정기교육에 대한 철저한 지도·감독이 필요하고, 더불어 작업변경시 교육 및 신규채용자에 대한 교육 또한 제대로 이루어져야만 할 것으로 판단된다. 이와 더불어 체계적인 보수 교육의 필요성이 대두되어야 한다고 본다. 국내의 경우, 한국 폴리텍 대학의 경우 정규 산업 잠수 교육이 이루어지고 있으며, 이러한 기관과의 산/학 협동체제를 구축하여 기존 산업 잠수사에 대한 보수 교육이 이루어져 지속적인 의식 재고에 도움이 될 수 있도록 지원해야만 할 것이다. 각 공사 현장에서는 기존 잠수병 보유자에 대한 투입에 대해 보다 체계적인 질환 여부 확인을 위하여 전문 병원에 의뢰하여 재투입시 발현할 수 있는 안전사고를 지향할 필요가 있다고 사료된다.



Fig. 13 규정된 정기 또는 특별안전보건교육의 여부

(6) 상승속도와 감압시간에 대한 규정 준수에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 잠수작업에 따른 상승속도와 감압시간에 대한 규정을 엄격히 준수하고 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 14에서 나타난 바와 같이 ‘알고 있으며 준수한다’ 라고 응답한 수는 총 62부 중에 24부로 39%로 나타났다. 이에 반해 ‘알고 있으나 현실적으로 준수하지 못한다’ 라고 응답한 수는 36부로 나타났으며 이는 전체 응답자 중에서 58%에 해당되는 것으로 현장에서 규정된 사항을 준수하는 것은 매우 어려운 것으로 판단되며, 이는 안전사고의 발생가능성이 대단히 높다는 것을 의미한다 할 수 있다.

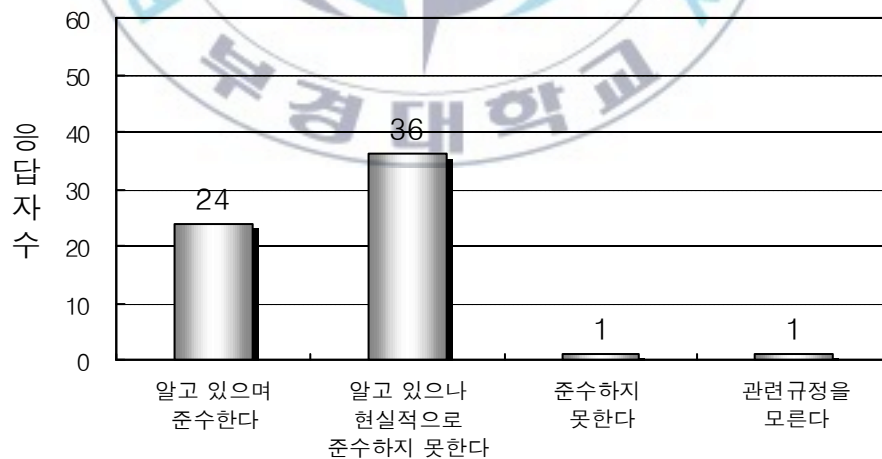


Fig. 14 상승속도와 감압시간에 대한 규정 준수 여부

(7) 급상승 경험에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 잠수작업 중 위급한 상황이 발생하여 아주 급하게 상승한 경험이 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 15에서 나타난 바와 같이 ‘자주있다’ 라고 응답한 수는 총 62부 중에 3부로 응답하였고, ‘가끔있다’ 로 응답한 수는 42부로 68%로 나타났으며, ‘없었다’ 라고 응답한 수는 17부인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 잠수작업에서의 사고 발생가능성이 비교적 높다는 것을 의미한다.

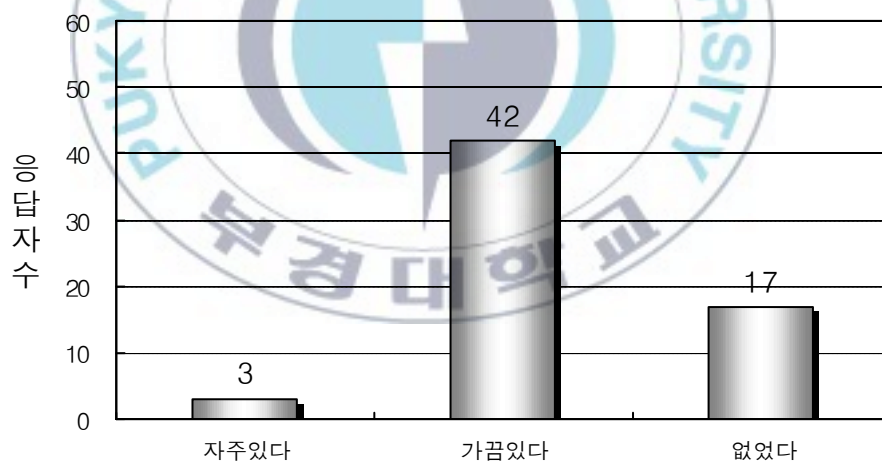


Fig. 15 작업 중 급상승 경험 여부

(8) 잠수장비의 성능에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 잠수작업용 장비는 충분한 성능을 가진 것을 사용하는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 16에서 나타난 바와 같이 ‘예’ 라고 응답한 수는 총 62부 중에 39부로 63%로 나타났다. 이는 작업자들이 잠수 작업에 대한 위험성을 인지하고 있는 것에 대한 결과로 판단된다. 이에 반해 ‘일부만 그렇다’ 와 ‘전혀 그렇지 않다’ 라고 응답한 수는 각각 20부와 2부로 응답한 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 잠수작업자들이 자신의 생명과 직결되는 요소인 잠수장비의 성능에 대해서는 비교적 잘 인지하는 것으로 나타났다. 하지만, 기존 채래 방식에서의 장비라고 하는 것은 대단히 제한적인 요소가 포함되어 있기 때문에 인지도는 높지만 안전하다고 볼 수 있다고 할 수 있지 않다.

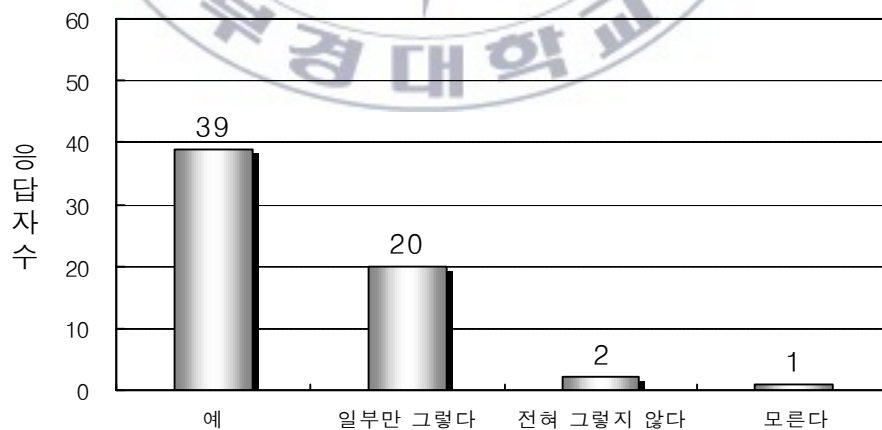


Fig. 16 잠수작업용 장비의 성능

(9) 잠수장비의 정기점검에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 잠수작업용 장비는 산업안전보건법에 규정된 정기점검을 받는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 17에서 나타난 바와 같이 ‘예’ 라고 응답한 수는 총 62부 중에 17부로 나타났고, ‘일부만 한다’ 와 ‘전혀 그렇지 않다’ 라고 응답한 수는 각각 21부와 19부로 총 응답자 중에 62%에 해당되는 것으로 나타나 잠수작업현장에서 규정된 정기점검이 제대로 이루어지지 않고 있는 것으로 나타나 사고의 발생가능성이 비교적 많이 내재되어 있는 것으로 판단된다. 또한, 가장 중요한 요소인 호흡 기체에 대한 분석이 잠수장비 정기점검 항목에 포함되어 있지 않은 점은 보완되어야 할 것으로 생각된다. 호흡용 컴프레서의 경우, 최소한 6개월마다 기체 순도 분석 (Air Purity Test)을 실시해야 산업 잠수사가 직접적으로 호흡하는 기체에 대한 신뢰도를 제공할 수 있는 제도적 기반이 필요할 것으로 사료된다.

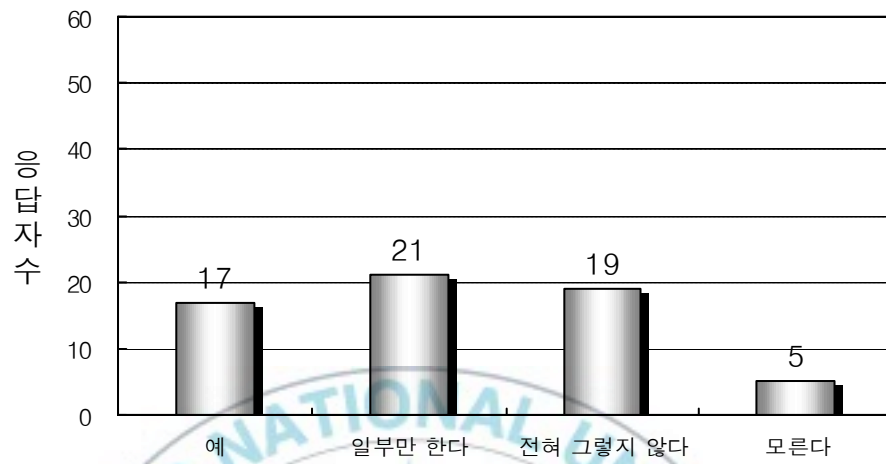


Fig. 17 잠수장비의 정기점검 여부

(10) 잠수작업 경과 기록에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 잠수작업에 경과를 정확하게 기록(recording in log book)하고 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 18에서 나타난 바와 같이 ‘예’ 라고 응답한 수는 총 62부 중에 17부로 나타났고, ‘일부만 한다’ 와 ‘전혀 그렇지 않다’ 라고 응답한 수는 각각 33부와 12부로 나타나 잠수 작업 경과 기록이 현장에서 제대로 이루어지지 않고 있는 것으로 나타났다. 잠수작업 경과 기록은 차후에 발생할 수 있는 동종재해나 유사재해를 예방하기 위해 매우 중요한 요소 중에 하나이므로 기록 및 보관을 철저히 하여 안전관리에 적극 활용하여야 할 것이다. 더불어 잠수사의 레벨업 및 경력 관리에 있어서 중요한 지표가 될 수 있으며 잠수 프로파일을 구현할 수 있어 기존 잠수 패턴에 대해 분석할 수 있다. 해외 경쟁력을 갖추기 위한 기초 제공 자료로서 활용할 수 있다.

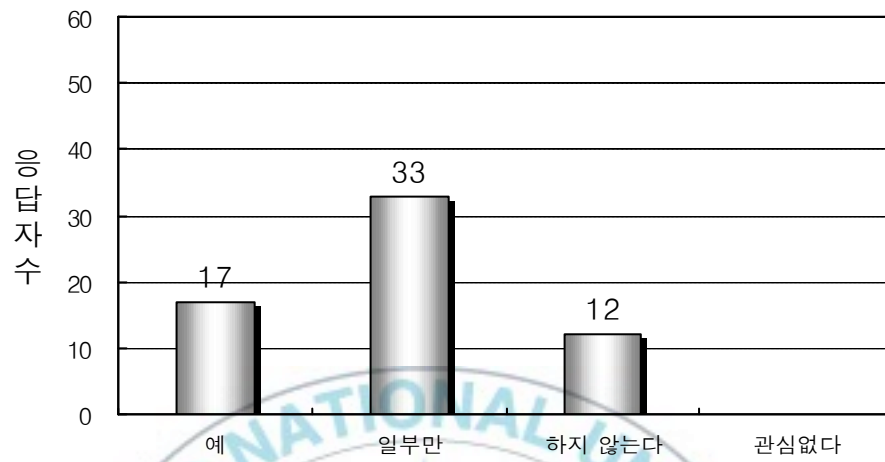


Fig. 18 잠수작업경과 기록

(11) 특수건강진단에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 산업안전보건법에 의한 특수건강진단을 받고 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 19에서 나타난 바와 같이 ‘예’라고 응답한 수는 총 62부 중에 45부로 나타났고, ‘아니오’와 ‘모른다’라고 응답한 수는 각각 14부와 3부로 나타나 대부분의 잠수작업자들이 건강에 매우 신경 쓰고 있음을 알 수 있다. 이는 해당 공사 원청사들의 안전 관리에 대한 의지가 잘 표명되어 가고 있다고 유추할 수 있는 부분이다.

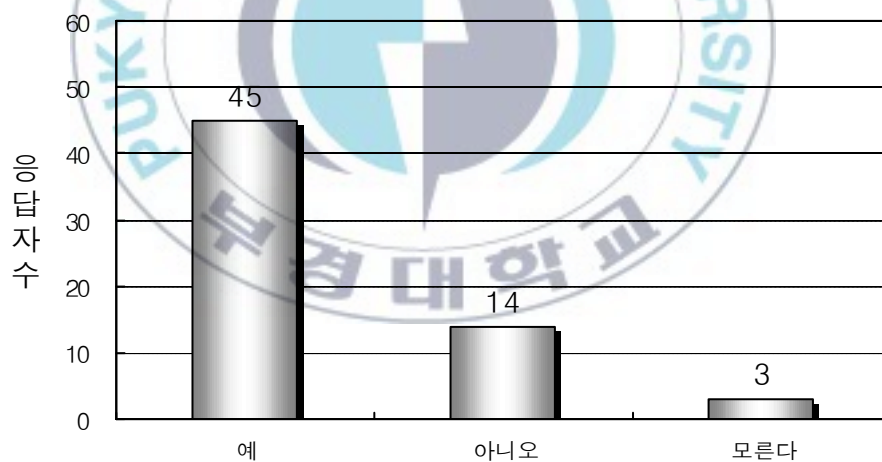


Fig. 19 특수건강진단에 관한 사항

4.2.2 잠수작업 중이나 작업 후의 신체 증상에 대한 설문결과

(1) 잠수작업 중 또는 작업 후 관절 및 사지의 통증에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 최근 1년간 잠수작업 중이나 잠수작업 후 관절 및 사지의 통증을 느낀적이 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 20과 같이 ‘없다’ 라고 응답한 경우가 62부 중에 26부로 나타났고, ‘가끔있다’ 로 응답한 경우가 33부로서 53%로 나타났으며 이들이 특수건강진단 대상이 되는지는 계속적으로 검토하여야 할 것이다. 한 번 발생되면 간헐적으로 지속적으로 발생하는 특성이 있기 때문에 체계적인 관리방안이 필요하다고 볼 수 있다.

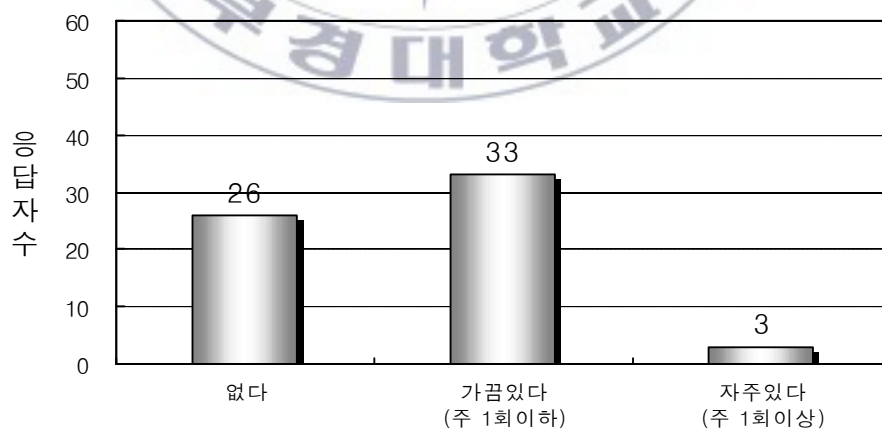


Fig. 20 잠수작업 중 또는 작업 후 관절 및 사지의 통증에 관한 사항

(2) 감압병 또는 잠수질환으로 입원 또는 통원치료 경험에 관한 사항

잠수 작업자를 대상으로 최근 1년간 잠수작업으로 인한 감압병 또는 잠수질환으로 입원 또는 통원치료 경험이 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 Fig. 21과 같이 ‘예’ 라고 응답한 경우가 62부 중에 11부로 나타났고, ‘아니오’로 응답한 경우가 51부로써 82%로 나타났다.

잠수작업의 위험성에 비해 작업자들이 입원 또는 통원치료 경험이 높지 않은 것은 중증이 아니면 병원출입을 기피하거나 퇴출가능성을 염두에 두고 은폐하는 것일 가능성도 높다고 유추할 수 있다.

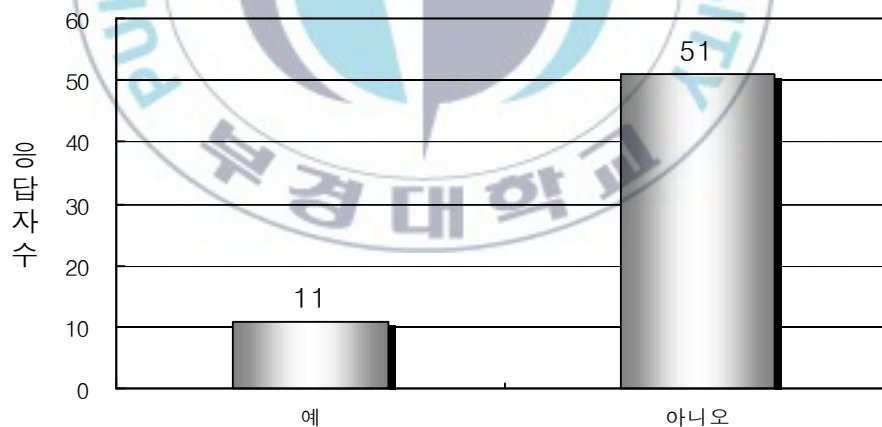


Fig. 21 감압병 또는 잠수질환으로 입원 또는 통원치료 경험에 관한 사항

4.2.3 통계적 설문분석 결과

본 절에서는 작업자들의 나이와 경력에 따른 잠수병 및 질환의 위험성에 대한 인식 정도, 다른 건설공사 및 제조공정에 비해 어느 정도 잠수작업이 위험한가에 대한 인식 정도와 잠수작업 중이나 작업 후에 나타나는 신체적 증상에 관한 설문을 통계 프로그램 SAS version 9.1을 이용하여 비모수 통계분석(Non-parametric Statistic Analysis)을 실시한 결과 Fig. 22와 23과 같이 나타났다.

The SAS System					
The CORR Procedure					
Spearman Correlation Coefficients, N = 62					
Prob > r under H0: Rho=0					
	age	year	a	b	c
age	1.00000	0.89084 <.0001	0.09713 0.4527	-0.18444 0.1513	0.11075 0.3915
year	0.89084 <.0001	1.00000	0.05674 0.6614	-0.13455 0.2971	0.02588 0.8417
a	0.09713 0.4527	0.05674 0.6614	1.00000	0.19944 0.1202	-0.01866 0.8855
b	-0.18444 0.1513	-0.13455 0.2971	0.19944 0.1202	1.00000	0.03497 0.7873
c	0.11075 0.3915	0.02588 0.8417	-0.01866 0.8855	0.03497 0.7873	1.00000
d	0.26445 0.0378	0.24547 0.0545	-0.16638 0.1962	-0.05420 0.6756	0.24586 0.0541
e	0.20107 0.1171	0.17958 0.1625	0.14712 0.2538	-0.00158 0.9903	0.11875 0.3580

Fig. 22 잠수작업자의 나이와 경력에 따른 신체적 증상

The SAS System					
The CORR Procedure					
Spearman Correlation Coefficients, N = 62					
Prob > r under H0: Rho=0					
	d	e	f	g	h
age	0.26445 0.0378	0.20107 0.1171	0.26655 0.0362	0.23414 0.0670	0.26856 0.0348
year	0.24547 0.0545	0.17958 0.1625	0.21045 0.1006	0.13343 0.3012	0.21309 0.0963
a	-0.16638 0.1962	0.14712 0.2538	0.10061 0.4366	0.07302 0.5728	-0.14362 0.2654
b	-0.05420 0.6756	-0.00158 0.9903	0.17926 0.1633	-0.08873 0.4929	0.07673 0.5533
c	0.24586 0.0541	0.11875 0.3580	0.27193 0.0325	-0.05476 0.6725	-0.17815 0.1659
d	1.00000	0.50221 <.0001	0.54775 <.0001	0.01479 0.9092	0.41429 0.0008
e	0.50221 <.0001	1.00000	0.51283 <.0001	-0.15515 0.2285	0.41214 0.0009

Fig. 23 잠수작업자의 나이와 경력에 따른 신체적 증상

[※ a : 잠수병 및 질환의 위험성에 대한 인식

b : 건설공사 또는 제조공정에 비해 잠수 작업의 위험도

c : 피부증상(가려움증, 발적, 부종, 피부변색)

d : 말초 및 척추신경 증상(감각둔화, 저린감, 팔·다리의 근력약화·마비, 배변장해 등)

e : 관절통·요통 등 골격계 통증

f : 중추신경 증상(두통, 어지러움 및 구토)

g : 호흡기 증상(흉통, 호흡곤란, 기침 등)

h : 청각기능 증상(청력장해, 평형감각 상실 등)]

Spearman Correlation Coefficients를 이용한 비모수 통계분석결과 Fig.22 와 Fig. 23에서 나타낸 바와 같이 연령과 경력이 모두 증가함에 따라 ‘말초 및 척추신경 증상(감각둔화, 저린감, 팔·다리의 근력약화·마비, 배변장해 등)’ 이 증가하는 것으로 관찰(p -value=0.0378, p -value=0.0545)되어 통계적으로 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 23에 나타난 바와 같이 연령이 증가함에 따라 ‘중추신경 증상(두통, 어지러움 및 구토 등)’ 과 ‘청각기능 증상(청력장해, 평형감각 상실 등)’ 에 대한 자각이 높아지는 것으로 관찰(p -value=0.0362, p -value=0.0348)되었다.



5. 결 론

산업 잠수 작업시 발생될 수 있는 사고를 줄이기 위해서는 위험 요소에 대한 적극적이면서도 구체적인 대처방안이 필요하다. 본 연구에서는 산업 잠수인들의 잠수작업 환경 및 건강상태에 관한 설문조사를 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현재 잠수작업을 행하고 있는 잠수작업자의 과반수 이상(57%)이 잠수작업으로 인한 잠수병 또는 잠수질환 발생의 위험성에 관해 잘 알고 있는 것으로 나타났다.
2. 잠수작업자들의 대부분은 건설공사 및 제조공정에 비해 위험성이 높은 것으로 인지하고 있는 것으로 나타났으며 이에 대한 결과로 동일한 임금이 지급될 경우 이직할 의향이 있는 것(50%)으로 나타났으며, 임금이 줄어들더라도 감압병 등 잠수에 의한 질병을 예방하기 위해 잠수 횟수 또는 시간을 줄이거나 잠수깊이를 알게 할 의향이 있는 것(58%)으로 나타났다. 이는 잠수작업의 위험성이 높다는 것을 반영한 것으로 사료된다.
3. 잠수작업자를 대상으로 산업안전보건법에 규정된 정기 또는 특별안전보건교육을 받고 있는지에 관한 설문에서 정기적인 교육을 받는 경우가 18%에 불과한 것으로 나타났다. 이는 대부분의 산업잠수사가 안전에

관한 체계적인 교육을 받지 못하였고 잠수작업자에 대한 전문화된 교육이 가능하도록 전문교육기관의 설립이 필요할 것으로 사료된다.

4. 잠수작업에 따른 상승속도와 감압시간에 대한 규정을 엄격히 준수하고 있는지에 관한 설문을 실시한 결과 제대로 준수하는 경우는 전체에 39%에 불과하고 대다수의 작업자들이 규정을 준수해야한다는 사실을 인지하면서도 작업환경에 의해 현실적으로 준수하지 못하는 경우가 많은 것으로 나타났다.
5. 잠수 작업자들이 사용하고 있는 잠수작업용 장비의 경우에는 63%에 해당하는 작업자들이 충분한 성능을 가진 장비를 사용한다고 응답하였으나, 산업안전보건법에 규정된 정기점검을 받는 경우는 27%에 불과한 것으로 나타나 잠수작업현장에서 규정된 정기점검이 제대로 이루어지지 않고 있는 것으로 나타났다.
6. Spearman Correlation Coefficients를 이용한 비모수 통계분석결과 연령 및 경력이 증가함에 따라 ‘말초 및 척추신경 증상(감각둔화, 저린감, 팔·다리의 근력약화·마비, 배변장해 등)’이 증가하는 것으로 관찰되어 통계적으로 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났고, 연령이 증가함에 따라 ‘중추신경 증상’과 ‘청각기능 증상’에 대한 자각이 높아지는 것으로 관찰되었다.

[부록]

잠수작업환경 위험도 인식에 관한 설문

※ 아래의 표는 현재 잠수작업에 종사하는 경우에만 작성하여 주십시오.

사업장명	업종분류		
현장주소			
현장기간	200 . . . - 200 . . . (년 월)		
조사일자		조사자명	(인) (인)

부경대학교 안전공학과

(번, 번, 번) (위험도에 따라 세가지만 순서대로 번호를 기입하시오)

- 1-6. 산업안전보건법에 규정된 정기 또는 특별안전보건교육을 받으십니까?

- ☐ ① 알고 있으며 준수한다. ☐ ② 알고 있으나 현실적으로 준수하지 못한다.
☐ ③ 준수하지 못한다. ☐ ④ 관련 규정을 모른다.

☐ ① 자주 있다 ☐ ② 가끔 있다 ☐ ③ 없었다

1-10. 잠수작업용 장비는 충분한 성능을 가진 것을 사용하십니까?

- 1-11. 잠수작업용 장비는 산업안전보건법에 규정된 정기점검을 받으니까?

- 1-12. 잠수작업에 경과를 정확하게 기록(recording in log book)하고 계십니까?

- 70 -

2-3. 감압병 또는 잠수질환으로 입원 또는 통원치료를 받으신 적이 있습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

2-4. (2-3에서 '예'인 경우만) 병원치료를 받은 질병명은 무엇입니까? (모두 √표시)

☐ ① 제1형 감압병 (경한증상 감압병) ☐ ② 제2형 감압병 (심한증상 감압병)

☐ ③ 기체색전증 ☐ ④ 이압성골괴사 (상완, 대퇴, 견골 등, 고관절, 슬과절)

☐ ⑤ 기타 ()

2-5. 감압챔버 (Decompression Chamber)에서 치료를 받으신 적이 있습니까?

☐ ① 예 ☐ ② 아니오

※ 마지막 까지 답변해 주셔서 대단히 감사합니다. 본 설문 조사결과는 여러 분과 같은 산업 잠수작업자들의 안전과 건강을 지키기 위한 기초 자료가 될 것입니다.



참 고 문 헌

- 1) 조수현, 양대현, 최현, “수산물 채취 산업잠수사에서 발생한 중증
감압병 37예 분석”, 대한산업의학회지 1권 1호 pp. 98-108,
1989
- 2) 황규윤, 김해준, “감압병 환자 163예 분석 연구”, 대한산업의학
회지 제6권 제2호, 364-376, 1994
- 3) 사공준, 윤석근, 이경수, 황태윤, 이성원, “수산물 채취 산업잠수
사의 잠수관련 질환의 현황 조사 및 대책수립”, 해양수산부, 2006
- 4) HSE Induction program, CDS Korea, Inc, 2004
- 5) HSE Manual, Global Industries Asia Pacific, 2002
- 6) OSHA 규정 CPL 02-00-143-29 CFR Part 1910, Subpart T
Commercial Diving Operations
- 7) Safety Practice Manual. 2003. CDS Korea. Inc
- 8) US Navy Diving Manual Rev.5. 1999
- 9) 김희덕, “감압병환자치료현황”, 한국잠수응급구난망, 2003
- 10) Diving Incident Report, BSAC, 2006
- 11) Diving Safety Alert, Association of Diving Contractor, 2007
- 12) 김병규, 최병순, 김은아, 이정오, “잠수작업자 현황파악 및 건강
장애에 관한 연구”, 한국산업안전공단, 2005

A Study on Safety Measurement of Deep Sea Commercial Diving Operation

Oh, Tae-Gon

Department of Safety Engineering

Graduate School

Pukyong National University



Abstract

The typical environments of commercial diving in South Korea are very poor due to low developments in that industries. Although South Korea has long history to use the water for their lives, the commercial diving industries were not improved due to lack of understanding and investment. As South Korean has faced the 21th century for another step forward to see the future of ocean development, this study discussed the safety aspects of the commercial diving industry, in detail. By analyzing the potential hazard factors and assessing the accident history, we propose how to minimize the diving accident in the commercial diving.

First of all, it is discussed the main difference between the typical commercial diving method(hereafter "Hookah") and the advanced commercial diving method(here after "Surface Supplied Diving") to find out what has to be considered as safety factor for commercial diving operation.

This study also analyzes the accidents data to find the solution to minimize the level of the accident. And the final step, the safety management for commercial diving is discussed by analyzing the survey data obtained from the commercial divers in South Korea. As the market demands increases to build inland and offshore structures and to explore the oil and gas in the deep oceans the related commercial diving operation is also grown up with the market. The diving operation may take high risks so that it must be advanced by establishing the safety management system and maintaining the consistent development.

The commercial diving in South Korea has to be developed by improving the diving system such as Surface Supplied Diving, developing the industrial standard and regulation for diving operation and getting experiences in global offshore market such as gas/oil pipeline, offshore platform, SPM Buoy and Offshore construction work.

Based on those requirements, South Korea may achieve the best safety management in the commercial diving industries.

Futhermore, this study is required for further investigation of industrial standard establishment to ensure divers' Health, Safety and Environments.

감사의 글

2000년 산업 현장에서 학문적 고갈을 느끼고 진학했던 산업대학원! 직장생활을 하면서 석사과정 수료 후, 업무가 나지 않아 망설이던 논문 작성을 시작할 수 있었던 것은 주변 선배 제위와 지도교수님의 격려가 있었기 때문입니다. 바쁘신 가운데서도 세심하게 논문을 검토해주시고 보다 좋은 논문을 위해 많은 지도를 해주신 이내우 교수님 감사드립니다. 논문 주심과 심사위원으로서 어설폰 제자의 논문을 수정하여 주신 박외철 교수님, 신성우 교수님께도 감사드립니다.

석사과정 중 지도교수님으로 많은 학문적 도움을 주셨던 전남대학교 고성석 교수님 계도 깊은 감사의 마음을 드립니다. 석사과정동안 강의를 통해 많은 가르침을 주신 장성록 교수님, 이동훈 교수님, 최재욱 교수님께 감사드립니다.

지금은 부경대학교 총장 퇴임 후 안식년으로 잠시 학과를 떠나계시지만 산업대학원 진학의 원동력이셨고 많은 가르침을 주신 목연수 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 학과장이신 권오현 교수님과 오창보 교수님, 이의주 교수님께도 감사를 드립니다.

논문을 착수하도록 독려해주신 이태영 교수님, 관련 자료 검색과 논문 편집에서 많은 도움을 줬고 산업대학원 건설방 선배이시기도 한 “이종빈 박사님께” 심심한 사의를 전하고 싶습니다.

잠수관련한 국내,외 많은 자료를 제공하였으며, 잠수사 설문 조사에도 도움을 주신 (주)C.D.S INDUSTRY 여시구 부사장님, 김규식 부장께 감사드리고, 밤을 지새며 도움 주셨던 백훈성 부장께 진심으로 감사의 뜻을 전합니다.

지금껏 정신적 지주이자 스승이기도 하신 부모님께 감사의 마음을 전하며,
미천한 논문이 누군가에 도움이 되고, 더욱 심화 연구되는 씨앗이 되길 기원하며
글로 표현하지 못 한, 더욱 많은 제 주변의 분들에게도 감사드립니다.

논문 작성 내내 이끌어주신 하나님께 영광을 돌립니다.

