

# 우리나라 산업잠수분야의 사망사고 사례 연구

박상원\* · 윤한삼

\*부경대학교(학생) · 부경대학교(교수)

## A Case Study on the Fatal Accidents of the Commercial Diving Activity in Korea

Sang-Weon PARK\* · Han-Sam YOON

\*Pukyong National University(student) · Pukyong National University(professor)

### Abstract

The present study was conducted to provide baseline data for understanding commercial divers fatalities between difference work categories, diving methods and cause of death by identifying the basic structure such life threaten accident. Recently, we have experienced many fatal accidents at the commercial diving activity involving with SCUBA and surface supplied diving systems such as hookah divers or full face mask divers. Since year 2010 to 2019, we have 60 diving fatalities in Korea. divided into shellfish diving 14 death, propeller debris removal 12 death, ship husbandry diving 11 death, and other category 17 death such as relating with civil engineering, construction or installation, power plant water intake maintenance etc. The equipment used were SCUBA 11 cases and hookah 30 cases were the predominant, 5 cases of full face mask and 1 case of KMB band mask. The major cause of death were varied such as the crashing by propeller 6, lack of gas or CO contamination 8, differential pressure delta P 4, DCI 5 & cardiac arrest 2, fouled 4 and 3 for others, many of 28 cases was not able to identify.

**Key words :** Commercial diving, Fatal accident, Diving accident, Diving fatality, Case study

### I. 서론

산업잠수의 극한 수중환경과 직무 특성상 생명을 위협하는 치명적인 사고는 시간과 공간을 구분하지 않고 발생하고 있으며(Hermans, 2016), 감압병과 상해, 압력손상 등 신체적 건강문제는 물론 불안, 공포, 공황, 외상후 스트레스 등의 정신적인 건강문제를 야기한다(Hong, 2019).

잠수사망사고의 종류는 공기부족에서부터 신체적 상해에 이르기까지 다양한 만큼 전문가의 참여와 부검 등을 통한 정확한 사고 및 사망원인을 규명하고자 하는 적극적인 노력이 필요하다(Kim,

2014). 한편 그동안 발생한 많은 사망사고의 주요 원인으로 지목되었던 통신기 사용과 예비공급원을 휴대하도록 하는 법률개정 등의 노력이 계속되었으나 결과는 기대에 못 미치고 있는 실정이다(Kang, 2017). 그럼에도 국내 산업잠수에서의 작업특성에 맞지 않는 열악한 잠수체계를 극복하고 사고 예방을 위한 수중사고 대응절차 개발 등의 적극적인 노력은 계속되고 있다(Park et al., 2018).

국내 산업잠수분야에서 발생하는 사망사고는 한국산업안전보건공단(KOSHA), 산업안전보건연구원(OSHRI), 신문 및 방송 매체, 판결문 및 학

\* Corresponding author :  wetstick@naver.com

술 논문 등을 통해서 제한된 형태로 보도 및 발표되고 있다. 그러나 이와 같은 사례는 실제 발생하는 사망사고의 일부에 불과하여 실제 사고건수와는 많은 차이를 보이고 있으며 관련된 연구도 현실적으로 매우 부족한 상태이다.

이에 본 연구에서는 2010년부터 2019년까지 최근 국내 산업잠수 현장에서 발생한 사망사고 사례를 조사하였고 이를 바탕으로 잠수 영역별, 잠수 장비별, 사고 유형별로 분석하였다. 또한 분석된 결과를 바탕으로 국내 산업잠수의 사고 특성 및 국내 산업잠수의 전반적인 문제점을 살펴보고 향후 기존과 유사한 사고가 발생하지 않도록 산업잠수분야의 당면과제에 대해서 고찰하고자 하였다.

## II. 조사 및 방법

### 1. 조사 및 방법

본 연구에서는 2010년부터 2019년까지 최근 국내 산업잠수 현장에서 발생한 잠수 관련 사망사고 사례를 조사하였다. 신문 및 방송에 보도된 사례, 법원과 해양안전심판원의 판결문, 원자력안전위원회(NSSC) 조사보고서, 연구 논문, 한국산업안전보건공단(KOSHA) 재해보건속보 등 사고 내용을 파악할 수 있는 60개의 사례를 특정하여 분석하였다(<Table 1>).

<Table 1> The sources of diving fatalities

Mass media	35
OSHRI report	8
KOSHA report	6
Sentencing	6
Postmortem paper	2
NSSC report	3
Total	60

※ OSHRI: Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA: Korea Occupational Safety and Health Agency, NSSC: Nuclear Safety and Security Commission

#### 가. 신문 및 방송뉴스

신문기사 및 방송뉴스 보도내용과 인터뷰 기사를 분석하여 사고날짜 및 작업의 종류, 사용된 장비와 사고원인 등 산업잠수의 사망사고 사례로 특정할 수 있는 35건을 인용하였다.

#### 나. 선형 연구자료

산업안전보건연구원(OSHRI)의 선형 연구‘잠수 작업 중대 재해 사례의 원인분석 및 제도개선 방안’(Kang, 2017)에서 2003년부터 2016년까지 14건의 잠수 사망사고 중 2010년부터 2016년까지 사고날짜와 사용된 장비, 사망원인 등 본 연구와 관련하여 8건의 사례를 인용하였다.

#### 다. 판결문

해양안전심판원과 법원의 판결문 중 사고날짜와 작업의 종류, 사용된 장비와 사고원인 등 사례로 특정할 수 있는 해양안전심판원 판결문 4건과 법원 판결문 2건을 인용하였다.

#### 라. 학술 논문

기존 국내 관련 분야 학술지에 발표된 잠수 관련 사망사고 부검 논문을 참조하여 사고날짜와 사용된 장비, 사고원인 등 사례로 특정할 수 있는 2건을 인용하였다(Na et al., 2014; Kim, 2019).

#### 마. 조사보고서 및 보도자료

국내 원자력발전소에서 발생한 3건의 사망사고를 조사한 자체 보고서와 중대 재해보건속보 등 한국산업안전보건공단(KOSHA)에서 발표한 자료 6건을 인용하였다.

### 2. 연구의 한계 및 제한점

해안이나 항만 등 해양에서 발생한 잠수 사고 등 일반적인 해양사고는 해양경찰의 초기조사를 바탕으로 작성된 보도자료를 언론매체가 그대로 또는 추가 취재하여 보도한다. 이와 같은 보도자료는 사고날짜와 장소, 사고자의 성별과 나이, 사고 경위와 이송과정 등 상세한 정보를 포함하고 있어 사례로 특정하는 것이 가능하였다.

선행 연구자료는 사고날짜와 사고원인등을 상세히 제시하고 있어 사고사례로 특징하는 것이 가능하였으나 작업의 종류와 사용된 장비를 사건별로 밝히지 않는 제한된 정보가 제공되었다.

산업안전보건공단의 재해보건속보 등은 사용된 장비에 대한 설명이 일부 제한적이었다.

해양안전심판원과 법원의 판결문 및 원자력안전위원회 조사보고서는 사고발생의 과정과 원인 등 상세한 정보가 제공되었으며 부검 논문은 부검을 통하여 수중폭발에 의한 폐부상과 평소의 심장질환과 사망의 관계를 중심으로 설명함으로 자료의 신뢰성이 높다고 할 수 있다.

한편 모든 사고의 선행요인이나 질병 등 사고자의 개인적 특성을 확인할 수 없는 한계가 있었다. 또한 일부 작업의 종류나 사용된 장비 등 제한된 정보때문에 사례로 특정할 수 없는 사망사고의 경우는 본 연구의 분석에서 제외되었음을 밝혀둔다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 산업잠수분야의 해양 공간 구분

산업잠수는 작업의 장소와 종류에 따라 크게 Offshore diving과 Inshore(또는 Inland) diving으로 구분할 수 있다.

미국이나 유럽 등 석유산업이 발전한 나라에서

는 Offshore의 사전적 의미를 떠나 석유산업과 관련된 해양에서의 잠수라는 의미로 사용되고 있다 (<Table 2>). 이에 반해 Inshore/Inland diving은 내해 또는 항만, 강이나 호수 등에서 이뤄지는 잠수의 의미로 사용된다. Offshore diving에 대해서 영국 HSE(Health and Safety Executive)는 석유산업과 관련된 해양구조물 설치 및 송유관 매설 공사, 포화잠수(Saturation diving), 동적위치조정선박(Dynamic Positioning Vessel)에서 수행하는 잠수, 해상풍력이나 조류발전 등 신재생에너지 산업과 관련된 잠수, 50 m보다 깊은 수심에서의 잠수로 정의하고 있다(HSE, 2020).

주로 국외에서 사용하는 Offshore diving의 개념을 국내 현실에 그대로 적용할 필요는 없으나 Offshore diving과 Inshore/Inland diving의 구분이 필요하다. 그 이유는 Offshore diving으로 정의되는 잠수의 대부분은 육지로부터 멀리 떨어져 있고 수심에 대한 부담도 많으며 작업의 내용이 좀더 복잡하고 위험이 따르기 때문에 사고예방을 위해서 투입되는 인원의 자격기준, 최소인원 및 장비는 물론 지켜야 할 안전기준도 매우 까다롭기 때문이다(IMCA 2014; ADCI 2016).

Offshore diving의 개념을 국내 산업잠수 환경에 적용하면 거리상으로는 국내 유일의 동해 가스전이나 이어도 해양과학기지가 대표적이며, 작업환경으로는 국내 석유산업의 중심지인 울산 앞

<Table 2> The categories of commonly named as offshore or inshore/inland diving

Offshore	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. At sea outside the UK territorial waters adjacent to Great Britain (generally 12 nautical miles from the low water line)</li> <li>2. All diving operations in offshore installations, wells and pipeline works</li> <li>3. Any diving operations using closed bell or saturation diving techniques</li> <li>4. Diving operations vessels from dynamic positioning systems</li> <li>5. EET diving operations such as wind farms or tidal current power</li> <li>6. For all dives below 50 metres</li> </ol>
Inshore or Inland	Many diving work categories except for offshore diving categories such as: Civil engineering, construction, shipping, ship salvage, sea science, shellfish, public safety, inspection or media, dam or reservoir

\*EET; Emerging Energy Technologies

<Table 3> The categories of commonly known as commercial diving

Oil & Energy	Offshore structure installation support, inspection & repair SBM installation or maintenance, PLEM installation & pipeline laying energy structure for wind farm or tidal current power
Civil engineering or Construction	Harbor or breakwater/seawall construction, bridge, pier or jetty work dam or power plant inspection & maintenance, water intake or discharge power or optical cable laying, dredging & trimming
Shipping	Hull cleaning or inspection, repair, welding, debris removal & polishing
Shellfishing	Catch or harvest various edible aquatic seafood such as comb pen shell sea cucumber, sea squirt, oyster, octopus, lobster, crab and shrimp
Salvage	Ship salvage & rescue, oil recovery, cutting & removal
Science	Agriculture, artificial fishing bank or forest, archaeology & discovery oceanophysics research or environmental survey, underwater forensic
Others	Media, public safety and rescue, training, aquarium, potable water tank or reservoir

바다 등지의 해상 원유하역설비인 SBM(Single Buoy Mooring) 및 PLEM(Pipe-Line End Manifold) 설치와 이로부터 육지까지 연결되는 해저 송유관 매설 공사 등도 모두 Offshore diving으로 볼 수 있다. 또한 최근 신재생에너지(Renewable energy)와 관련된 해상풍력이나 조류발전 등과 관련된 잠수(Kim, 2013), 수심 조건으로는 거가대교 침매 터널 건설공사에서의 잠수를 Offshore diving의 개념에 포함시킬 수 있다(Woo, 2016).

이에 비해 Offshore diving에 포함되지 않는 선박(Shipping), 토목 및 건설(Civil/Construction), 인양(Salvage), 인공 양식(Artificial agriculture), 프로펠러 장애물 제거(Propeller debris removal) 등 대부분의 잠수를 Inshore/Inland diving의 영역으로 분류할 수 있다(<Table 3>). 또한 각종 수중촬영이나 영상물 제작, 공공안전영역에서의 수색 및 구조 활동도 여기에 포함된다. 하지만 해산물채취(Shellfishing)는 잠수방식이 대부분 동일하고 사고 특성이 단순하여 통상 일반적인 산업잠수의 통계에서 제외하기도 한다(Hermans, 2016).

2. 산업잠수분야의 주요 사고원인

잠수 관련 사망사고는 여러 가지 원인들이 복

합적으로 결합하여 발생하는 경우가 많으며(Kim, 2014) 잠수사들의 생명을 위협하는 사고의 주요 발생형태를 <Table 4>와 같이 정리하였다.

그 사례들을 살펴보면 수중에서 오염된 공기의 호흡이나 급작스런 공기고갈, 장비가 침수된 상황 등에 적절히 대응하지 못하고 물을 먹게되어 결국 익사(Drowning)로 이어지거나 잠수질병 또는 평소 앓고 있던 지병에 의해 심장마비로 사망하기도 한다(Kim, 2019). 수중구조물에 의한 신체 협착이나 걸림, 압력차에 의한 빨려들음도 수중 사망사고의 주요 원인이며 가동중인 프로펠러에 의한 충격이나 수중폭발에 의한 상해로 생명을 잃는 경우도 발생하고 있다(Na et al., 2014).

현재 국내 산업잠수에서 사용되는 잠수장비 체계는 <Table 5>와 같이 정리할 수 있다. SCUBA와 Hookah는 장비가 쉽게 벗겨지고 음성통신이 불가능함에도 경제적인 이유에서 많이 사용되고 있다(OSHRI, 2015). 음성통신이 가능한 Full face mask나 KMB band mask는 상대적으로 위험도가 높은 토목/건설분야 등에서 사용된다. 프리플로(Free flow) 기능은 호흡기 고착(Stuck)이나 의식 상실 등 자가호흡이 곤란한 잠수사에게 공기를 공급할 때 필요하며 머리보호가 가능한 하드 셸

<Table 4> The categories of major causes in the commercial diving fatalities

Drowning	Accidental loss of regulator in SCUBA or hookah diving flooding of the regulator or masks, diving helmet or band mask intentional removal of the diving gears in panic & fail to surfacing
Gas	Lack of breathing air, any toxic gas (engine exhaust gas, inadequate breathing mixture, etc.)
Explosion	Explosion caused by explosive gas build up and not enough ventilation during thermal cutting
Crash	Narrowness between U/W structure, crashing by propeller or thrust
Trapped	Entanglement of the diver body or diver's umbilical impossibility of escape from enclosure space such as ship wreck crushing and / or burial such as mud eaves or trench ridge
Delta P	Pressure differential such as water intake or discharge from power plant stuck in the drainage pipe, sucking in or blow out
DCI/CA	DCS(Decompression Sickness) & AGE(Arterial Gas Embolism) or CA(Cardiac Arrest)

(Hard shell) 형태의 잠수헬멧(Diving helmet)은 일부 신재생에너지나 석유산업관련 공사를 제외하면 국내현장에서는 자주 보기 어려운 실정이다.

최근 들어 급작스런 공기고갈에 대비하여 예비 공기공급원(EGS; Emergency Gas Supply)을 휴대하는 경우가 증가하고 있다. 주 공기공급원 고갈시 예비 공기공급원으로 전환할 때 KMB band mask 나 Superlite 계열의 잠수헬멧은 헬멧의 밸브를 개방하여 예비공기를 공급받는 단순한 방식이나 Hookah나 Full face mask의 경우는 기존의 호흡기를 대신할 새 호흡기로 교체하는 복잡한 과정 때문에 급물살이나 충격에 의한 호흡기 빠짐 등의 비정상적인 위급한 상황에서는 사고예방에 많은 도움을 기대하기 어렵다(Kang, 2017).

<Table 5> The variety of diving equipment

Self contained diving systems (SCDS)	Surface supplied diving systems (SSDS)	
SCUBA Re-breather	Soft	Hookah, Full face mask* KMB band mask* **
	Hard	Superlite series e.g. 17* **, 27* **

\*Voice communication

\*\*Valve on-off on EGS & Free flow

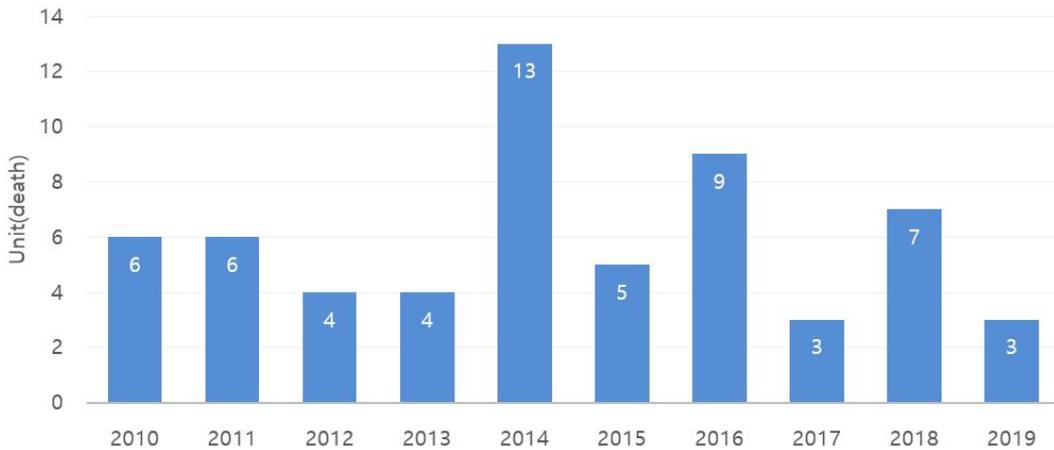
### 3. 최근 국내 산업잠수 사망사고

2010년부터 2019년까지 최근 국내 산업잠수 분야에서 발생한 잠수 관련 사고 및 사망사고 사례를 조사한 결과 잠수 관련 사망사고 중 사고날짜와 사고장소, 사고자의 성과 나이, 사고 당시의 작업내용과 사용한 장비, 사망원인 등 사례 분류가 가능한 사건으로 60건이 조사되었다(Fig. 1).

산업안전보건연구원의 잠수작업 실태조사 및 비용편익분석 연구'자료에 따르면 2005년부터 2014년까지 19건의 사망사고 중 본 연구와 기간이 겹치는 2010년부터 2014년까지 5년간 11건의 사망사고가 발생한 것으로 보고된 바 있다(OSHRI, 2015). 하지만 본 연구의 조사결과 32건의 사망사고가 발생한 것으로 조사되어 3배 이상의 많은 차이를 보여 실제 사고 건수와 통계가 불일치하는 것으로 나타났다(<Table 6>). 즉, 산업안전보건연구원의 자료와 본 연구의 조사자료를 비교하였을 때 2010년은 2건과 6건, 2011년은 1건과 6건, 2012년은 1건과 4건, 2013년은 3건과 4건, 2014년은 4건과 12건이었다.

본 연구에서 2010년부터 2014년까지 같은 기간 어업잠수와 프로펠러 잠수를 제외한 선박 및 토목/건설분야에서 발생하여 밝혀진 사망사고는 20건이었다(<Table 6>).

본 연구에서 불법 조개채취 등 어업잠수에서 발생한 사고와 프로펠러 장애물 제거중 발생한 사고를 포함하는 조사방법의 차이를 감안하더라



[Fig. 1] The commercial diving fatalities in Korea.

도 조사에서 빠진 사망사고와 사례로 특정할 수 없어 본 연구의 분석에서 제외된 사례까지 감안하면 실제 사망사고는 이보다 훨씬 많을 것이라 예상이 가능하다. 따라서 공식적인 통계에서 누락되는 실제 발생한 사망사고를 제대로 파악하는 것이 향후 올바른 사고예방 정책수립을 위해 반드시 요구된다 할 것이다.

#### 4. 잠수 영역별 사망사고 사례

2010년부터 2019년까지 최근 국내 산업잠수 분야에서 발생한 잠수 관련 사망사고 사례를 조사한 60건의 사망사고 중에서 잠수 영역별로 사망사고 사례를 분석하고자 하였다. 이 중에서 잠수 영역별 분류가 가능한 사례는 54건이었으며 6건은 잠수영역을 분류하기에 정보가 부족하였다.

종래 국내 산업잠수의 사망사고는 선박잠수와

토목/건설 등 기타의 영역에서 발생한 사고를 중심으로 조사 및 분류되는 경향이 강하다. 이로 인해 어업잠수와 프로펠러 장애물 제거잠수는 제외되는 경향이 있었지만 이 두 잠수 현장에서 발생하는 많은 사고 건수를 감안하여 본 연구에서는 독립된 별도의 영역으로 분류하여 분석하였다.

특히 프로펠러 장애물 제거잠수를 일반 선박잠수에서 분리한 이유는 프로펠러에 걸린 어망 등 장애물을 제거하다 발생한 사고, 수리중인 선박에서 발생한 프로펠러 충격 등의 사고와 구분하기 위함이다. 예를 들어 잠수기 어선의 프로펠러에 걸린 장애물을 제거하다 갑자기 작동한 프로펠러에 잠수사가 부딪혀 사망한 사고 사례는 어업잠수가 아닌 프로펠러 장애물 제거잠수로 분류하였다.

<Table 6> The comparison for the different figure of diving fatalities

Year	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Total
Previous study	2	3	1	2	0	2	1	1	3	4						19
Present study						6	6	4	4	13	5	9	3	7	3	60
Civil/Const. in present study						5	3	0	2	10	1	4	2	1	0	28

이러한 특성을 감안하여 본 연구에서는 국내 산업잠수 영역을 어업 잠수(Shellfishing), 프로펠러 잠수(Propeller debris), 선박 잠수(Shipping), 토목/건설 잠수(Civil/Const.)로 크게 네 영역으로 구분하였다. 어업잠수와 순수 프로펠러 잠수, 선박 잠수를 제외한 모든 영역에서의 잠수를 토목/건설잠수로 분류하였다. 따라서 토목/건설잠수에는 항만이나 교각 해양 구조물설치 등 순수 토목 및 건설은 물론 발전소와 저수지, 선박인양, 바다 숲 조성 등 가장 광범위한 영역을 포함한다.

결과적으로 각 잠수 영역별로 사고 건수를 살펴보면 어업잠수 14건, 프로펠러 잠수 12건, 선박 잠수 11건, 토목/건설잠수 17건으로 분류되었다.([Fig. 2]).

이를 구체적 사례로 살펴보면 어업잠수에서는 잠수기선 어업잠수사 등 모두 14건의 사망사고가 발생하였으며 SCUBA를 사용하여 불법채취중 발생한 4건의 사망사고를 어업잠수에 포함하였다.

프로펠러 잠수는 12건의 사고가 발생하였는데 주로 어선에서 선원들에 의해 발생하였다. 프로펠러에 걸린 그물이나 로프 등의 장애물을 전문 잠수사가 아닌 잠수교육을 받지 않은 일반 선원들이 자체 장비를 이용하여 현장에서 무리하게 제거를 시도하다 발생하는 경우가 많았다. 이와 같은 어로 현장에 분실 또는 무단투기된 어망 등

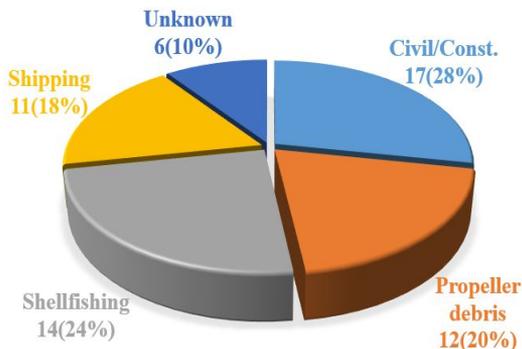
의 해양쓰레기(DFG; Derelict Fishing Gear)는 선박의 항행은 물론 군사작전의 지장을 초래하며 이를 제거하기 위한 불가피한 경제적 손실이 발생하고 있음을 나타내고 있다(Hong et al., 2017).

선박잠수 11건의 사고는 선저 청소 작업 중 의식을 잃은 채 동료잠수사에게 발견되는 경우가 많았다. 또한 잠수중 갑자기 작동한 프로펠러가 일으킨 급물살에 잠수장비가 벗겨져 사망하거나 프로펠러에 의한 직접적인 신체충격으로 사망하는 사례가 발생하였다.

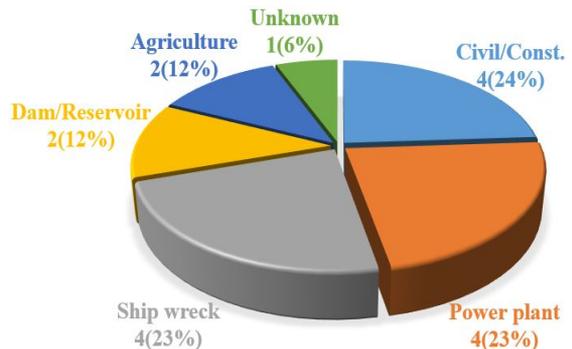
토목/건설잠수는 모두 17건의 사망사고가 발생하였는데 원자력 및 화력발전소의 주기적 정비작업에서 각각 3건과 1건, 선박 수색 및 인양에서 4건의 사망사고가 발생하였다(이중 2건은 세월호와 관련). 저수지 수리와 바다숲 조성사업에서 각각 2건, 항만 및 해양공사에서 4건의 사망사고가 발생하였으며 1건의 사례는 잠수분야를 판단하기에는 정보가 부족하였다([Fig. 3]).

### 5. 잠수장비별 사망사고 사례

본 연구에서 60건의 사망사고 사례를 잠수장비별로 분석하고자 하였다. 이중에서 47건이 사고 당시 사용된 장비에 대한 정보를 확인할 수 있었다. 사고 당시 사용된 잠수 장비로는 Hookah가



[Fig. 2] The diving fatalities in Korea according to the diving sector.



[Fig. 3] The diving fatalities in Korea according to the Civil/Const. sector.

30건으로 가장 많았으며 SCUBA가 11건을 차지하였다. 지상과의 통신이 가능한 장비로는 Full face mask를 사용한 경우가 5건, KMB band mask를 사용한 경우가 1건이었다([Fig. 4]). 조사중 가장 발견된 장비는 KMB band mask였다.

한편, 60건의 사망사고 중 13건에 대해서는 사고 당시 사용된 장비에 대한 정보가 부족하였다. 그러나 조사결과를 미루어 대부분 SCUBA나 Hookah를 사용한 것으로 추측할 수 있다. 예를 들어 어업잠수는 SCUBA를 이용한 채취행위를 금지하고 있어 투구식 등 특별한 경우를 제외하면 대부분 선상에서 호스를 통하여 공기를 공급하는 Hookah를 사용하기 때문이다(Heo, 2015).

Hookah를 사용한 잠수 30건 중에서 어업잠수 6건, 프로펠러 잠수 9건, 선박잠수 3건, 토목/건설에서 11건의 사고가 발생하였으며 나머지 1건에 대해서는 정보가 부족하였다([Fig. 5]).

SCUBA를 사용한 11건의 사고중 어업잠수 4건, 프로펠러 잠수 3건, 토목/건설에서 2건의 사고가 발생하였으며 나머지 2건에 대해서는 정보가 부족하였다. 어업잠수에서의 SCUBA를 사용한 4건의 사고는 모두 불법채취중 발생하였다([Fig. 6]).

Full face mask를 사용한 5건의 사고중 정보가

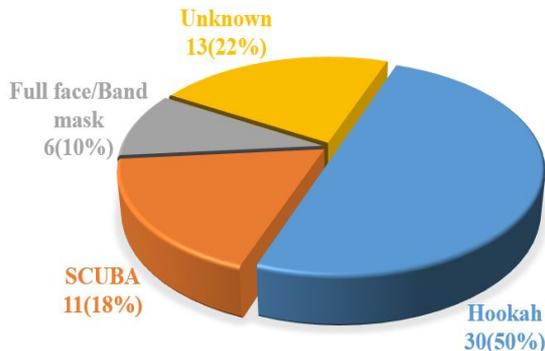
제공되지 않은 1건을 제외하면 KMB band mask를 사용한 수중폭발사고 1건을 포함하여 모두 난이도가 높은 토목/건설잠수에서 발생하였다.

그 동안 국내 산업잠수에서 사용되는 장비체계에 대한 개선의 필요성은 끊임없이 지적되어왔다. 음성통신 수단없이 발생한 많은 잠수중 사고는 사고발생의 인지를 늦춰 구조활동을 지연시킬 뿐만 아니라 정확한 사고원인을 밝히는 것도 불가능하게 하였다(Kang, 2017).

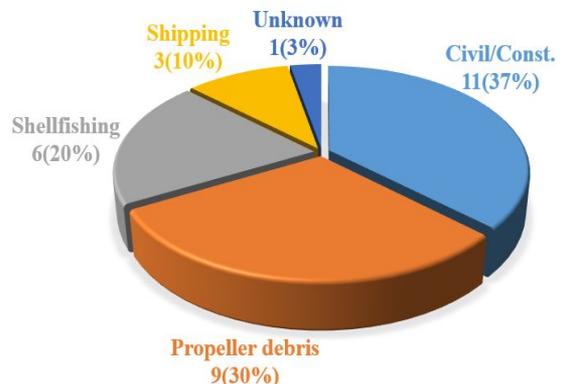
### 6. 사고유형별 사망사고 사례

2010년부터 2019년까지 60건의 사망사고 중에서 정보 제한으로 사고원인을 분류할 수 없는 사례는 28건이었다. 사고원인 분석이 가능한 32건의 사례를 분석하여 사고원인을 기체문제(Gas/CO), 잠수 및 심장질환(DCI/CA), 프로펠러오작동(Propeller), 압력차이(Delta P), 수중 걸림(Fouled), 기타(급물살, 수중폭발)로 분류하였다([Fig. 7]).

공기고갈 등 호흡기체 문제로 8건의 사망사고가 발생하였다. 장비고장에 의한 공기고갈로 3건, 호흡기체 오염에 의한 일산화탄소 중독으로 5건의 사고가 발생하였다. 특히 오염된 공기 등 호흡기체에 의한 사고는 가장 후진적인 잠수사고



[Fig. 4] The diving fatalities according to the diving equipment.



[Fig. 5] The diving fatalities with hookah in diving sector.

형태라고 할 수 있다.

어업잠수에서 발생한 4건의 일산화탄소 중독 사고 중 2건은 Hookah를 사용하던 중 발생하였는데 노후된 장비사용과 여과장치 화재 등 모두 부적절한 장비관리 때문에 발생하였다. SCUBA를 사용하던 중 발생한 사고가 2건이 있었으며 SCUBA에 의한 해산물 채취행위는 불법이기 때문에 음성적인 공기충전 등이 원인으로 지적되었다.

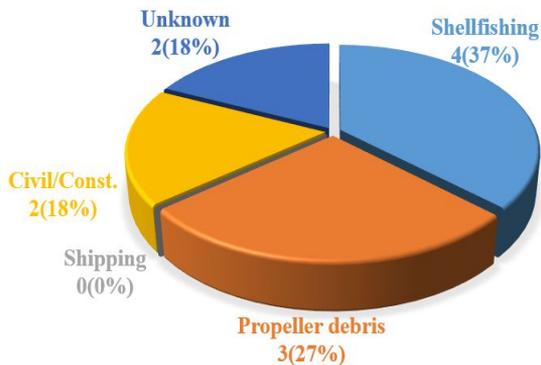
잠수 관련 질병으로 사망한 사고는 모두 5건이 조사되었으며 급상승에 의한 동맥공기색전증 등이 의심되는 경우가 3건이었다. Heo et al.(2015)에 따르면 남해안 잠수기어업잠수사들은 반복적인 장시간의 잠수로 각종 잠수질환을 경험하고 있는데 잠수질환 사고는 프로펠러 잠수나 선박잠수보다는 수심이 깊거나 오랜 잠수 또는 거친 조류 등 잠수환경이 나쁜 경우에 발생하였다. 평소의 심장질환이 심정지(Cardiac arrest)로 이어진 경우가 2건이 있었다.

프로펠러 오작동에 의한 사고는 6건이 발생하였으며 잠수사가 수중검사 등의 작업중에 프로펠러가 작동하여 발생하였다. 선박잠수에서 5건, 잠수기어선에서 1건이 발생하였다. 6건 중 2건은 프로펠러와의 직접적인 충격에 의한 신체 상해로

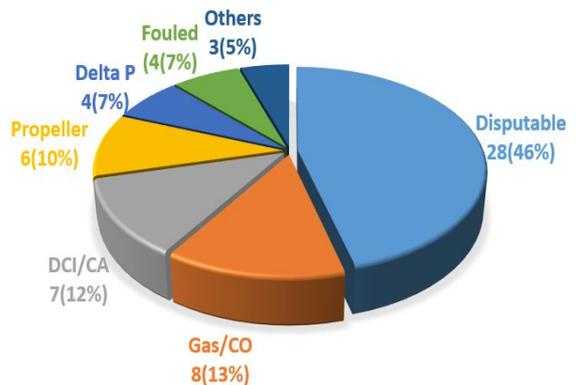
사망하였으며 2건은 신체 일부나 공기호스가 프로펠러에 감겨 제때 상승하지 못하여 사망하였고 2건은 프로펠러가 작동하여 발생한 급물살에 호흡기를 잃어버리는 사고로 사망하였다. 사용된 장비는 Hookah가 2건, SCUBA가 1건이었으며 사용된 장비의 종류를 알 수 없는 경우는 3건이었다. 대부분 잠수사의 출수를 확인하지 않고 프로펠러를 가동시켜 발생하였다.

압력차이에 의한 빨려들 사고는 발전소 정비작업과 저수지 수리작업으로 각각 2건씩 발생하였다. 먼저 발전소에서 발생한 사고중 1건은 원자력발전소 취수구 근처에서 작업중 취수모터 가동으로 발생한 급물살에 잠수사가 취수구로 빨려들어가 사망하였으며 다른 1건은 가동중이던 취수모터에 잠수사가 빨려들어가 신체 상해로 사망하였다. 저수지 배수관 수리중 발생한 사고는 잠수사의 다리가 배수관에 끼어 수압차 때문에 빠져 나오지 못하여 발생하였고 취수구 이물질 제거작업중 발생한 사고도 잠수사가 취수구에 압착되어 사망하였다. 사용된 장비로는 Hookah 2건, Full face mask 1건, SCUBA가 1건이었으며 SCUBA의 경우 여러 차례 공기통을 교환하며 구조에 성공하였으나 구조 후 과다출혈로 사망하였다.

수중에서 잠수장비나 공기호스가 걸려 제 때에



[Fig. 6] The diving fatalities with SCUBA in diving sector.



[Fig. 7] The major causes of death in commercial diving fatalities.

상승하지 못하여 공기고갈 등으로 사망한 사고는 4건이 발생하였다. Hookah를 사용한 2건의 사고는 공기공급 호스가 로프 등 수중 장애물에 걸려 발생하였고 SCUBA의 경우도 그물 등에 걸려 상승하지 못하고 결국 공기부족으로 사망하였다.

수중 절단 중 폭발에 의한 폐부상(Underwater blast injury)으로 사망한 사고와 급물살에 의한 호흡기 상실의 익사 사고로 이어진 사고가 각각 1건씩이었다. 이밖에 의식 없이 수면에 떠오른 잠수사를 구조하려던 보조사(Tender)가 잠수사와 함께 사망한 사고가 1건이었다.

구체적인 사고원인을 판단하기 어려운 28건의 사례는 대부분 의식을 잃은 채 수중 또는 수면에서 발견되었다. 여러 명이 작업하는 특성을 가진 선박잠수 등은 사고 당시 수중에서 함께 작업하던 동료잠수사에 의해 무의식 상태로 발견되는 경우가 많았다. 어업잠수와 프로펠러 잠수는 대부분 혼자 잠수하다 사고를 당하였으며 발견형태도 기포 감시(Bubble watch)중 수면에 호흡 버블이 없거나 예정된 시간이 지나도 상승하지 않아 강제로 끌어올려진 경우가 많았다. 늦은 사고인지에 따른 구조지연도 사망사고의 주요 원인으로 지목되는 이유이다. 이밖에 의식을 잃은 채 떠오르거나 상승 후 휴식중 의식을 상실한 경우도 있었다.

호흡기가 입에서 빠진 상태로 발견된 경우가 많았는데 호흡기 빠짐을 사고원인으로 단정하기 보다는 일산화탄소 중독 등 다른 선행원인을 밝히는데 주안점이 될 필요가 있다(Kim, 2014).

특히 SCUBA나 Hookah는 비전문가가 접근하기 쉬운 장비인 반면 강한 급물살이나 충격 등 호흡기가 입에서 빠지거나 마스크가 침수되기 쉽다. 여기에 대한 대비가 부족하면 본능적으로 패닉(Panic) 상태에서 장비를 벗어버리고 탈출을 시도하게 되는데 이 과정에서 그물이나 로프 등 장애물에 걸릴 경우 물을 먹게 되고 익사하게 된다. 이 경우 탈출에 성공하더라도 급상승에 의한 이차부상의 위험에 직면하게 된다(Lafère, 2009).

## 7. 국내 산업잠수분야의 당면과제

전술한 국내 산업잠수분야에서 발생한 사망사고의 사고유형은 매우 후진적이며 대부분 예방이 가능한 사고라고 할 수 있다. 이상의 결과를 바탕으로 국내 산업잠수의 사고 특성 및 전반적인 문제점, 향후 개선해 나가야 할 당면과제를 제안하면 다음과 같다.

첫째, Hookah와 SCUBA는 호흡기와 마스크가 쉽게 빠지거나 벗겨져 물을 먹기 쉬움에도 음성통신 장비를 사용할 수 없는 한계로 사고발생의 위험을 알려거나 사고인지가 늦어 사실상 골든타임안에 구조하는 것이 불가능하였다. 따라서 잠수사의 안전이 확보된 경우를 제외하면 Hookah와 SCUBA의 사용을 최소화해야 한다. 특히 위험도가 높은 토목/건설분야는 Hookah와 SCUBA의 사용을 제한하고 음성통신이 가능한 Full face mask 이상의 장비를 사용하도록 해야 한다.

둘째, 어업잠수 등 거의 모든 사례에서 홀로 잠수를 하던 중에 사고가 발생하는 경우가 많았다. 따라서 잠수분야별 위험도에 따라 잠수장비 및 잠수팀 운영에 필요한 최소인원을 규정할 필요가 있으며 잠수팀원의 구성에 무자격 잠수사나 보조사의 참여를 제한해야 한다. 특히 토목/건설분야는 수심 등 작업의 위험도를 평가하여 음성통신 및 CCTV 등 사고인지 수단을 마련하고 발생한 사고에 적절하게 대응할 수 있도록 대기 잠수사(Standby diver)를 반드시 운용할 필요가 있다(Park et al., 2018).

셋째, 어업잠수나 선원들에 의한 프로펠러 잠수 등 사고원인을 밝히기 어려운 사례들도 본 연구에 의하면 일산화탄소 등 오염된 공기에 의한 사고일 것이라는 추론이 가능하다. 따라서 오염된 공기가 공급되지 않도록 공기공급장치에 대한 주기적인 오염측정 등 철저한 공기 관리가 요구된다.

넷째, 어업잠수는 일부시기와 지역을 제외하면 어족자원 보호의 목적으로 선박수와 인원을 법으

로 제한하고 있는데 허가 선박의 수를 줄이는 대신 작업인원을 늘리는 트레이드 오프(Trade-off) 등의 방법으로 잠수사 1명이 혼자 잠수하는 방식을 개선할 필요가 있다. 프로펠러 잠수에서는 무자격 선원들에 의한 무리한 잠수가 주요 사고원인이었다. 따라서 잠수 지식이 부족한 선원들에 의해 발생하는 사고방지를 위해 일정 크기 이상의 선박은 잠수 담당 선원을 지정하여 최소 수준의 교육이 이뤄지도록 제도적 뒷받침이 필요하다.

마지막으로, 일부 사례를 제외하면 의식상실이나 사망에 이르게 된 원인을 알 수 없는 사례들이 많았다. 향후 잠수 관련 사고조사에서 작업의 종류와 강도, 수심과 수온 등 현장환경, 장비 적합성 및 고장, 안전규칙의 준수 여부, 사고발생의 과정과 원인, 구조과정에서의 문제점 등 사고에 대한 보다 철저한 조사가 필요하며 이를 위한 전문가의 조력과 함께 부검 등을 통해 정확한 사인을 밝히는 것은 반복되는 같은 형태의 사고를 예방하고 앞으로의 올바른 산업잠수분야 사망사고 저감 대책수립을 위해 요구되어 진다고 할 것이다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 2010년부터 2019년까지 최근 국내 산업잠수분야에서 발생한 잠수 관련 사망사고 사례 60건을 조사하여 분석하였다. 그 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

첫째, 잠수 관련 사망사고 사례 60건 중 54건에서 잠수영역별 구분이 가능하였으며 어업잠수에서 14건, 프로펠러 장애물 제거 잠수에서 12건의 사망사고가 발생하였다. 통상의 산업잠수분야로 분류하던 선박잠수와 토목/건설분야 잠수에서 각각 12건과 17건의 사망사고가 발생하였다.

둘째, 사망사고 사례 60건 중 47건에서 잠수장비별 구분이 가능하였으며 Hookah 30건, SCUBA 11건, Full face mask 5건, KMB band mask가 1건

이었다. 이중 Hookah는 토목/건설분야에서 11건, 프로펠러 잠수 9건, 어업잠수 6건, 선박잠수 3건으로 SCUBA와 함께 가장 많이 사용되는 장비였다.

셋째, 사망사고 사례 60건 중 32건에서 사고유형별 구분이 가능하였으며 기체문제 8건, 잠수질병 5건 및 심정지 2건, 프로펠러 오작동 6건, 수중 걸림 4건, 압력차(Delta P) 4건과 기타 수중폭발과 급몰살, 구조 중 사망이 각각 1건이었다.

한편, 본 연구 진행과정에서 산업잠수분야의 사망사고 사례에 대한 매우 제한된 정보로 연구결과가 다소 부족함이 있음을 인식하는 바이다. 하지만 공식적인 통계에서 누락된 실제 사망사고와 죽음 근처까지의 사고사례들을 포함한다면 산업잠수분야에서의 사고예방을 위한 올바른 정책을 수립하는데 본 연구가 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 잠수 관련 사망사고 사례를 정리하면서 사고예방을 위한 대책수립과 실행이 더이상 미뤄져서는 안된다는 점을 강조하는 바이다.

#### References

- ADCI(2016). International Consensus Standards for Commercial Diving and Underwater Operations(6.2 Edition). Houston, Association of Diving Contractors International, Inc.  
[https://www.adc-int.org/files/C12181\\_International%20Concensus%20Standards.pdf](https://www.adc-int.org/files/C12181_International%20Concensus%20Standards.pdf)
- Heo G, Lim SW and Shin HO(2015). Current Status of Diving and Institutional Improvement Plan of Diving Apparatus Fishery in the Southern Coast of Korea. J Kor Soc Fish Technol, 51(1), 136~145.  
<http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.1.136>
- Hermans F(2016). Survey and Analysis of Fatal Accidents in the Commercial Diving Sector.
- Hong SW, Lee JM and Lim SH(2017). Navigational Threats by Derelict Fishing Gear to Navy Ships in the Korean Seas. Marine Pollution Bulletin, 119, 100~105.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.006>
- Hong KS(2019). Posttraumatic Stress Experiences of

- Commercial Divers. Ph.D. Thesis, Keimyung University.
- HSE(2020). Diving at Work Regulations 1997; List of Approved Diving Qualifications, Dated 13 February 2020.  
<https://www.hse.gov.uk/diving/qualifications/approved-list.pdf>
- IMCA(2014). Design for Surface Oriented (Air) Diving Systems. London, The International Marine Contractors Association, D 023 Rev. 1.  
<https://www.imca-int.com/>
- Kang JH(2017). Cause Analysis of Fatal Accident Cases for Commercial Diving Work and Measures of System Improvement. Occupational Safety & Health Issue Report, 30(1), 28~35.  
<http://oshri.kosha.or.kr/oshri/publication/issueReport.do?mode=view&articleNo=406834&article.offset=0&articleLimit=10>
- Kim WS(2013). Critical Limits of Commercial Diving on the Construction of Tidal Current Power in Jangjuk Channel. Jour. Fish. Mar, Sci. Edu., 25(3), 733~742.  
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2013.25.3.733>
- Kim YS(2014). Technical Approach for the Postmortem Examination of SCUBA Diving Fatality. Korean J Leg Med, 38, 1~7.  
<http://dx.doi.org/10.7580/kjlm.2014.38.1.1>
- Kim YS(2019). SCUBA Diving Fatality by Overweighted Belt: An Autopsy Case. Korean J Leg Med 2019, 43:164~166.  
<https://doi.org/10.7580/kjlm.2019.43.4.164>
- Lafère P, Germonpré P and Balestra C(2009). Pulmonary Barotrauma in Divers During Emergency Free Ascent Training: Review of 124 Cases. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 80(4), 371~375.  
<http://dx.doi:10.3357/ASEM.2402.2009>
- Na JY, Park JW, Yoon SH, Park JS, Choi BH and Kim YS(2014). Diver Death due to Underwater Explosion. Korean J Leg Med 2014, 38, 171~174.  
<http://dx.doi.org/10.7580/kjlm.2014.38.4.171>
- OSHRI(2015). A Research Report of the Study on the Actual Condition and Cost-Benefit Analysis for Commercial Diving Work. KOSHA.  
<http://oshri.kosha.or.kr>
- Park SW, Kim WS and Yoon HS(2018). Experimental Study on Underwater Rescue of Surface-supplied Helmet Divers. Jour. Fish. Mar, Sci. Edu., 30(6), 1877~1890.  
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2018.12.30.6.1877>
- Woo DH(2016). A Case Study of Nitrox Usage in Diving Operation of the Busan-Geoje Fixed Link Immersed Tunnel. Master's Thesis, Korea Maritime and Ocean University.

- 
- Received : 07 August, 2020
  - Revised : 14 September, 2020
  - Accepted : 24 September, 2020