



선박 견현 높이를 고려한 표면공급식 헬멧잠수사의 수면 구조 시나리오 실험 연구

박상원[†] · 김원석^{*} · 윤한삼^{**}

[†]한국폴리텍대학(교수) · ^{**}부경대학교(교수)

An Experimental Study on the Surface Rescue Scenarios for Surface Supplied Helmet Divers Considering Diving Support Vessel's Freeboard Height

Sang-Weon PARK[†] · Won-Seok KIM^{*} · Han-Sam YOON^{**}

[†]Korea Polytechnics Gangneung Campus(professor) · ^{**}Pukyong National University(professor)

Abstract

This paper was a part of an experimental study to protect the golden time through efficient underwater rescue and water surface recovery of unconscious surface-supplied helmet divers at commercial diving sites. For that, two surface recovery scenarios to recover the diver from the water surface to the deck were established as scenario I using lifting methods stretcher+hoist and scenario II using lifting methods diving cage+hoist. Five divers for each scenario were carried out to evaluate the underwater rescue and surface recovery times. The deck height of this experimental study was set to 1 meter as ship's freeboard height and to 5 min. for optimal rescue time. The conclusions of this study can be summarized as follows: 1) The average recovery time to water surface was 2 min. 19 seconds for scenario I and 60 seconds for scenario II, respectively. 2) The result of the scenario II reduced 1 min. 19 seconds compared to scenario I. 3) The result of scenario II were more stabilized for both underwater rescue and surface recovery times compared to scenario I. 4) As the launch and recovery system at commercial diving sites, the diving cage and hoist lifting methods can be effective in reducing the skill level for the water surface recovery between individual divers.

Key words : Commercial diver, Surface supplied helmet diver, Underwater and surface diver rescue scenario, Diving support vessel, Diver launch and recovery system

I. 서론

산업잠수란 원유 및 가스 생산과 관련된 잠수 작업과 인근 해역 및 내해에서 수행되는 여러 가지 수중 공사와 관련되어 유지·관리 등에 필요한 수중업무로 행해지는 형태의 업무를 총체적으로 일컫는다(HSE, 2014; Park, 2016).

최근 들어 국내 산업잠수사들의 작업 수심은

점점 더 깊어지고 있다(OSHRI, 2015). 주로 항만 내에서 이뤄지던 선저 검사나 유지보수, 청소작업들도 기존에는 최대 수심이 대체로 10 m를 넘지 않았다.

그러나 건조되는 선박들이 점점 대형화되면서 선박의 흘수(draft)도 깊어지고 잠수사들이 작업해야 할 수심도 평균 15 m를 넘고 있으며 항만의 수심 제약으로 주로 외해에서 하역작업을 하는

[†] Corresponding author: 033-610-6132, wetstick@naver.com

대형 유조선들의 흘수는 대략 20 m를 넘고 있다 (DNV, 2017). 또한 신재생 에너지나 석유산업과 관련된 해저 파이프라인이나 부이(Single Point Mooring) 설치공사, 항만 토목공사에서 산업잠수사의 작업 수심이 깊어지는 현상은 두드러지게 나타나고 있다(Kim, 2013; Yang, 2017).

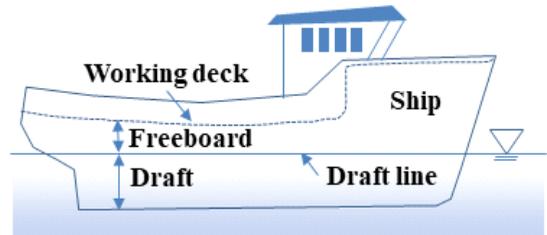
해안에서 멀어지고 수심이 깊은 곳에서 작업이 이뤄지는 만큼 산업잠수사들에 대한 자격증체계도 한층 강화되고 있으며(Sim et al. 2016), 이들이 승선할 선박들의 크기도 작업이 필요한 해양 환경에 맞게 대형화되는 추세로 전문 해상건설 바지선(construction barge)은 물론이고 잠수작업에 동원되는 선박들의 건현(freeboard)도 높아지고 있다. 건현이란 [Fig. 1]에 나타낸 것과 같이 선체 중앙부 상갑판의 선측 상면에서 만재흘수선(draftline)까지의 수직거리를 말하며(Kim, 2012), 따라서 건현이 높아지는 만큼 잠수사들이 일하는 데크(working deck)의 높이도 높아지고 있다.

선박의 건현 높이는 결국 잠수사들이 입수와 출수를 위한 수직 이동 거리를 의미하므로 이동 거리가 늘어나는 만큼 잠수사들의 입수와 출수를 위한 수단이 필요하다. 건현의 높이는 수중구조의 골든타임을 지키기 위한 수면에서의 구조방법을 결정하는 매우 중요한 요소이기도 하다.

Oil Companies International Marine Forum(2015)에 따르면 잠수사의 수면 구조 구역에는 트러스터(thruster)와 프로펠러가 없어야 하고 최대 건현 높이는 1.75 m 미만이어야 하며, 선미가 개방된 앵커 취급 선박은 최소 건현 및 최대 트림과 관련하여 특별한 주의가 필요하다고 명시하고 있다. 또한 Park et al.(2018)은 수중에서 조난잠수사를 구조하는데 걸린 시간(평균 5분)도 중요하지만, 수면까지 구조한 잠수사를 실질적인 응급조치가 가능하도록 데크까지 끌어 올리는데 걸린 시간(평균 3분 23초)이 전체 구조시간에서 차지하는 비중이 매우 크다고 주장한 바 있다.

이에 본 연구에서는 표면공급식 잠수체계(surface supplied diving system) 중 헬멧잠수사

(helmet diver)들의 잠수를 지원하기 위해 동원된 선박이나 해상건설 바지선과 같이 건현이 높은 선박에서의 잠수작업 중 발생하는 수중사고와 관련하여 수면 인양과정에서 상용되는 방법을 선별하여 시나리오(scenario)를 구성하였으며, 산업잠수사 교육과정 중 기초과정을 마치고 심화 과정에 재학 중인 학생들을 대상으로 수중 및 수면 구조인양실험을 수행하였다. 실제 실험 잠수를 통해 서로 다른 수면 인양방법으로 구조하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 최종적으로 실험으로부터 얻어진 구조시간을 분석하여 수중사고로부터 구조잠수사에 의해 수면까지 이송된 조난잠수사를 데크(deck, 갑판)까지 가장 안전하고 효율적으로 이송시킬 수 있는 개선된 구조 절차와 방법에 대해 논의하고자 하였다.



[Fig. 1] Definition of ship's freeboard

II. 잠수 선박의 특징

1. 잠수 선박의 종류

잠수 선박(diving vessel)이란 잠수사들이 탑승하고 생활하며 잠수를 주목적으로 사용하는 잠수 지원선(DSV: diving support vessel)을 지칭하는 것이 통상이지만 침몰선 인양이나 해저 송유관 매설 공사를 위한 바지선 등 작업 종류와 필요에 따라 동원된 일반 선박도 잠수장비를 선적하고 잠수사들이 승선하여 잠수작업을 수행한다면 넓은 범위에서 잠수 선박으로 표현할 수 있다.

잠수지원선(DSV)은 잠수를 주목적으로 건조되었거나 일반 선박을 개조하여 잠수장비를 갖춘



[Fig. 2] Different types of diving support vessel at commercial diving sites

선박으로 주로 잠수를 목적으로 사용되는 선박을 말한다. [Fig. 2(a)]의 경우처럼 건조할 때부터 수중작업을 지원하기 위한 크레인은 물론 포화잠수장비(saturation diving system)가 선박 내부에 설치되며 다이빙 벨(diving bell)을 진수시키기 위해 선박의 중심부에 문 풀(moon pool)이 있는 것이 특징이며, 포화잠수는 물론 일반 표면공급식 헬멧잠수가 모두 가능하다(DNV, 2011). [Fig. 2(b)]의 경우처럼 다목적 지원선(MSV: multi-purpose support vessels) 등 충분한 데크 공간과 수중 지원이 가능한 선박 중 선택하여 잠수 목적으로 개조하거나, 일시적으로 잠수장비를 선적한 경우로 비교적 선박의 규모가 작은 편이며 주로 표면공급식 잠수를 수행한다.

전문 건설용 바지선(construction barge)은 물론

일반 평 바지선(flat barge)도 해상건설에 자주 투입된다[Fig. 2(c),(d)]. 평 바지선은 넓은 데크 공간 때문에 잠수장비는 물론 블록과 같은 건설용 자재 선적과 낮은 가격에 동원할 수 있는 장점이 있어 국내 산업 잠수현장에서 자주 볼 수 있다. 바지선은 대체로 선박 자체의 부력이 매우 크고 데크가 높은 것이 특징이다. 바지선에는 보통 크레인이 설치되어 있어 크레인 바지(crane barges)나 플로팅 크레인(floating crane) 등 다양한 이름으로 불린다.

한편, 해양에서의 선박은 조류나 바람, 파도와 같은 외력에 의해 위치가 바뀌는데 DP(dynamic positioning system)와 PM(positioning mooring system)으로 위치를 유지한다(Ji et al., 2015).

DP 선박(DP vessel)은 GPS(위성항법장치)와

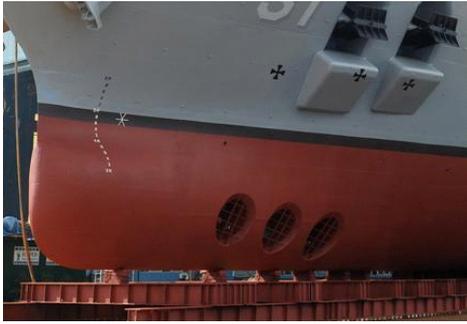
[Fig. 3(a)]과 같은 여러 개의 트러스터(thruster)로, MV 선박(mooring vessel)은 여러 개의 앵커(multi point mooring anchor)로 선박의 위치를 유지한다 ([Fig. 3(b)]).

잠수 선박의 위치 유지능력은 특히 잠수사가 수중에서 작업 중일 때 매우 중요하다. 잠수사가 수중에 머무는 동안 잠수 선박이 위치를 이탈한

다면 잠수사의 안전에 치명적일 수 있다(DNV, 2011). 따라서 DP 선박은 발전기나 트러스터, 스 위치 보드 등 단일 항목의 고장으로는 위치상실 (Loss of position)이 발생하지 않는 Class 2 이상의 선박이 필요하며(DNV, 2013), MV 선박은 4점 무어링(4 point mooring anchor) 이상의 선박을 동원할 필요가 있다.

<Table 1> The summary of underwater rescue scenario for umbilical freed(or can be freed) diver

| Task Section | Summary of Tasks | |
|---|---|--|
| | Scenario I (Surface recovery with hoist + stretcher) | Scenario II (Surface recovery with hoist + diving cage) |
| Preparation | Prepare for diving and diving station | |
| | STBY diver get equipped and tested to stand-by | |
| | Main diver enters the water and placed on the bottom | |
| | Set diver's umbilical fouled conditions which can be freed | |
| | Disconnect the communication to the bottom without notice(*switch off only) | |
| "Diver down" | Main diver act as a victim diver and never response to the call | |
| | Inform to all crew and call for rescue "Diver down, Diver down" and Time starts | |
| In the water | STBY diver starts wearing the diving helmet and ready to rescue | |
| | Supply the main diver's pneumo. with appropriate pressure for in case | |
| | STBY diver jump in the water and ready to descend | |
| Reached Diver (actual underwater rescue) | Travelling to bottom along the main diver's umbilical | |
| | Diver on bottom and check the scene | |
| | Check the main diver's consciousness and injury | |
| | Check the Air supply and Vent the diver's helmet or Open the EGS remains If available and required or Place the STBY diver's pneumo. hose into the main diver's helmet(if needed) | |
| | Free the diver's umbilical from the fouling as soon as possible Clear the diver from any other surrounded obstacles | |
| Leaving Bottom | Prepare for travel to surface and start coming up | |
| | Maintain the diver's head straight and ascending rates | |
| Reached Surface | Lower the stretcher to the surface | Lower the diving cage to the surface |
| | Put the rescuee into the stretcher | Put the rescuee into the diving cage |
| | Secure the rescuee to prevent falling | Secure the rescuee to prevent falling |
| | Recover the stretcher from the water | Recover the diving cage from the water |
| Diver on Deck | Unload the diver and remove the diving equipments | |
| | Check for the diver's consciousness, breathing and pulse | |
| | Conduct CPR/O2 or neurological exam(if required) | |
| Evacuation | Put the diver into the chamber or ready for transfer(if required) | |

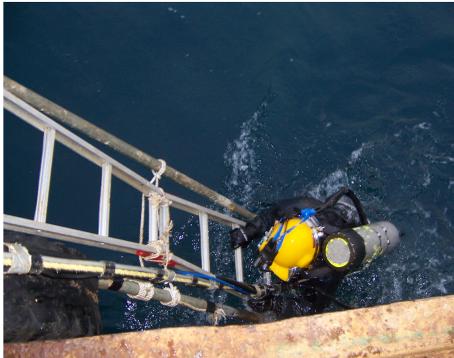


(a) DP thruster of ROK Navy Tongyeong ATS-31



(b) DSV with position mooring anchor

[Fig. 3] Different types of DSV positioning systems.



(a) Diver at the diving ladder



(b) Diver in the diving cage

[Fig. 4] Different types of diver exit methods.



(a) Diver LARS with diving cage



(b) Diver LARS with open diving bell

[Fig. 5] Different types of diver launch and recovery system.

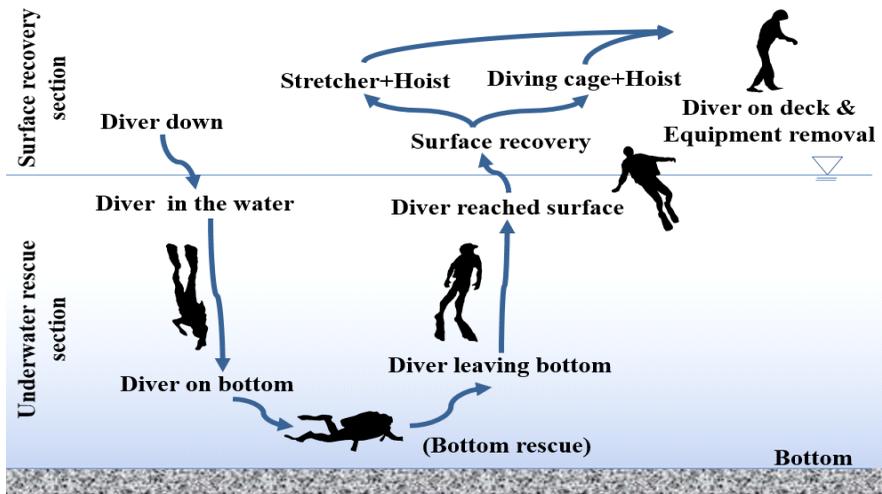
2. 잠수 선박에서의 출수

오랜 수중작업으로 지치거나 표면감압(surface decompression)을 위해 정해진 시간 안에 출수가 필요한 잠수사들이 출수 도중 탈진이나 추락 등

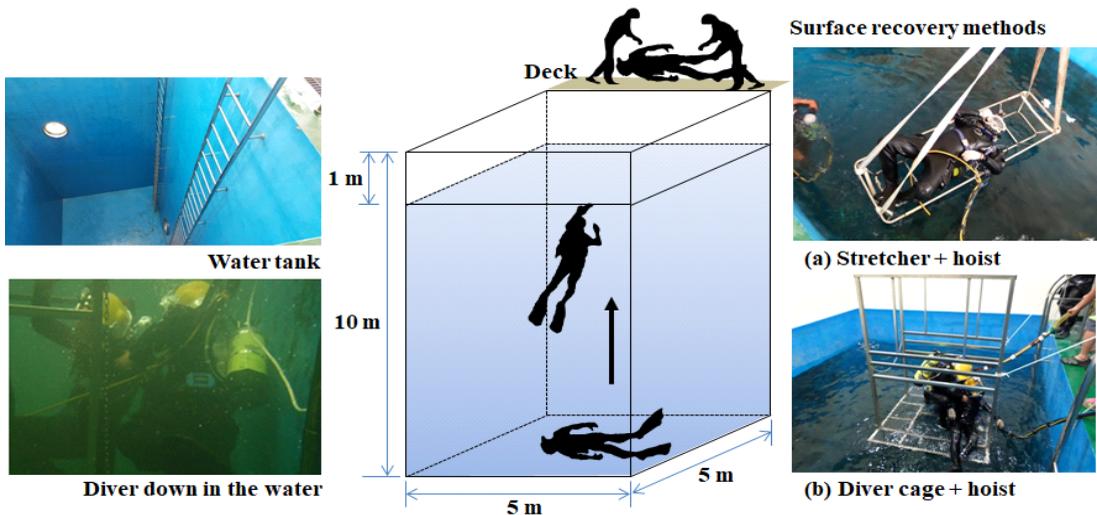
의 사고를 예방할 수 있는 [Fig. 4]의 사다리나 LARS와 같은 출수 수단이 강구돼야 한다(IMCA, 2014). 데크가 낮은 잠수 선박에서의 사다리는 난간의 형태와 높이, 수면 조건 등을 고려하여 제

작하는 것이 바람직하며 잠수사들의 입.출수 지점에 파도에 흔들리거나 부서지지 않도록 용접을 하는 등의 방법으로 단단하게 고정해야 한다. 견현이 높은 선박에서는 사다리 외에 좀 더 강화된 출수 수단이 필요한데 예를 들어 LARS(diver launch and recovery system)는 잠수사들을 데크에서 물로 또는 물에서부터 데크까지 이송해주는 일종의 승강기로서 지지구조물, A형 프레임과 윈

치 시스템, 잠수사가 탑승할 수 있는 케이지와 케이지가 흔들리지 않도록 잡아주는 중량추와 가이드 라인으로 구성되는 것이 일반적이다([Fig. 5(a)]. [Fig. 5(b)]의 다이빙 벨(diving bell)은 상부의 돔(dome) 내부에 기체 공간을 형성할 수 있어 수중 감압(in water decompression) 등에서 헬멧을 벗고 호흡할 수 있는 장점이 있다.



[Fig. 6] Underwater rescue and surface recovery scenario flow chart.



[Fig. 7] Diving pool used for this experiment.

Ⅲ. 수중 구조 실험

1. 수중 구조 시나리오: 2가지 수면 인양

본 논문의 선행 연구로서 Park et al.(2018)의 경우 최대 수심 5 m 수조에서 수중에서 의식 없는 잠수사를 구조하는 시나리오를 ①‘엄빌리컬(umbilical)이 구속 안 된 잠수사 구조’와 ②‘엄빌리컬이 구속된 잠수사 구조’로 설정하여 실험을 수행한 바 있다. 그러나 본 연구는 앞선 수심 조건을 극복하기 위해 실제 현장 수심과 유사한 수심 10 m인 수조에서 진행되었고 또한 수조 안에는 하강줄(down line)과 실습을 위해 설치한 로프(rope) 때문에 실험 중 발생할 수 있는 구조 실패가 실제 사고로 이어질 가능성이 있어 기존 연구의 시나리오 ②의 잠수사를 구속된 엄빌리컬에서 분리하여 구조하는 시나리오는 사고 예방을 위해 배제하였다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구의 시나리오 ①‘엄빌리컬이 구속 안 된 잠수사 구조’를 ㉠ 들것(stretcher)과 호이스트(hoist)를 이용한 수면인양(시나리오 I), ㉡ 케이지(diving cage)와 호이스트(hoist)를 이용한 수면인양(시나리오 II)의 두 가지 시나리오로 나누어 진행하였다. 시나리오 간의 차이점과 단계별 임무는 <Table 1>과 [Fig. 6]에 나타내었다.

가. 들것과 호이스트를 이용한 수면 인양

시나리오 I은 구조잠수사에 의해 수면까지 이송된 조난잠수사를 수면에서 들것에 실어 호이스트로 인양하는 방법이다. 호이스트에 연결되어 수면에 내려진 들것에 조난잠수사를 실어주면 구조잠수사의 임무는 다른 구조 상황이 발생하거나 특별히 지연되지 않는 한 종료된다. 다른 팀원들이 조난잠수사를 데크까지 끌어 올려 헬멧과 장비를 해체하여 실질적인 응급조치가 가능하도록 조치하면 시나리오가 종료된다.

나. 케이지와 호이스트를 이용한 수면 인양

시나리오 II는 구조잠수사에 의해 수면까지 이

송된 조난잠수사를 수면에서 다이빙 케이지에 실어 호이스트로 인양하는 방법이다. 따라서 구조잠수사는 조난잠수사를 수면까지 이송하여 수면에 반쯤 잠긴 채로 대기 중인 케이지에 조난잠수사를 탑승시켜 함께 상승한다. 다른 팀원들이 다이빙 케이지를 데크까지 끌어 올려 조난잠수사의 헬멧과 장비를 해체하여 실질적인 응급조치가 가능하도록 하면 시나리오가 종료된다.

2. 수중 구조 실험 방법

본 연구의 실험 잠수는 표면공급식 헬멧잠수사들이 건현이 높은 선박에서의 구조 활동 중 적용할 수 있는 인양방법을 중심으로 시나리오를 구성하였으며 실제 현장 수심 10 m에서 구조에 걸리는 시간을 수중구조단계와 수면인양단계로 구간을 나누어 기록을 측정하였다.

가. 수중 조난조건

건현이 높은 잠수 선박을 가정하여 수면에서 데크까지의 높이를 [Fig. 7]에서처럼 1 m로 설정하여 실시하였다.

수중구조 시나리오를 <Table 1>과 같이 ‘엄빌리컬이 구속 안 된 의식 없는 잠수사’로 설정하였으며 수면에서의 조난잠수사 인양방법에 따라 ‘들것과 호이스트를 이용한 수면 인양’과 ‘다이빙 케이지와 호이스트를 이용한 수면 인양’으로 세분화하였다. 수중 조난조건은 조난잠수사의 엄빌리컬이 송유관 매니폴드(PLEM; pipeline end manifold)에 여러 번 감긴 채 의식을 잃고 쓰러져 있는 것으로 가정하였으며 수중구조의 골든타임은 심정지 익수자의 시간대별 생존율이 25%에 이르는 5분으로 설정하였다.

나. 기록측정

기록측정구간은 [Fig. 6]과 같이 입수 완료, 하강 완료, 구조 완료, 상승 완료, 수면 인양 완료, 장비 해체 완료의 순으로 나누었다. 육안 관측이 가능한 입수와 수면 인양, 장비 해체 구간에서는 육안 관측하며 시간을 측정하였으며, 육안 관측

이 불가능한 수중 구조구간에서는 구조잠수사의 통신보고와 헬멧에 부착된 수중 CCTV를 참고하여 시간을 측정하였다.

잠수규정은 U.S. Navy Diving Manual(2016)과 ADCI(2016), IMCA(2014), HSE(2014) 규정을 준수하였다. 잠수 팀원은 IMCA와 ADCI의 규정에 따라 수퍼바이저 1명, 조난잠수사 1명, 구조잠수사 1명, 조난잠수사 텐더 1명, 구조잠수사 텐더 1명의 5명으로 구성하였다.

본 실험은 산업잠수사가 되기 위해 교육 중인 현장경험이 없는 20대 초반에서 30대 초반까지의 남학생들을 대상으로 하였으며, 산업잠수사 수업이 진행되는 과정에서 구조 상황을 연출하여 수행하였다. 구조 상황이 발생하면 발생 당시의 5명이 구조팀원이 되도록 하였고, 구조잠수사의 임무가 중복되지 않도록 1회만 수행하도록 하였다.

IV. 수중 구조 실험 결과

1. 수면인양과정에서 들것과 호이스트를 사용한 실험(시나리오 I)

먼저 수중구조 실험으로 수면까지 구조한 조난잠수사를 들것과 호이스트로 인양하는 시나리오 I에 대해 총 5회(#1~#5)의 잠수를 수행하였다. 실험 장면을 [Fig. 7(a)]에 나타내었다. 본 시나리오는 바지선과 같은 견현이 높은 선박에서 발생할 수 있는 조건으로 데크의 높이 때문에 다른 팀원들이 수면에 있는 구조잠수사를 효과적으로 도와주지 못하는 상황이라 할 수 있다. 의식이 없는 조난잠수사를 수면에서 들것에 실어 호이스트로 데크까지 인양하도록 하였다. 실제 현장에서는 선박의 크레인이 호이스트를 대신한다.

본 실험 시나리오 I에 대한 결과는 <Table 2>에 상세히 제시하였다. 먼저 잠수사 #1의 기록을 살펴보면, 실제 현장 수심 10 m에서 이뤄진 실험의 첫 번째 잠수로서 구조잠수사의 엄빌리케이

DMA(death man anchor, 부양 백이 과팽창 하여 급상승하는 것을 방지하는 부양 백의 용량을 초과하는 중량 추) 로프와 꼬이는 사고로 시간이 지체되었다. DMA 로프는 부양 백을 지탱하고 있어 시간 절약을 위해 단순히 칼로 절단할 경우 수중구조물이 부양하거나 쓰러져 실제 사고로 이어질 가능성이 있어 시간을 두고 스스로 로프를 풀어야 했다. 결과적으로 입수에서부터 장비 해체 완료까지의 시간이 각 단계별로 45초, 49초, 611초, 33초, 122초, 80초가 걸렸다. 수중구조시간과 수면인양시간은 각각 12분 18초와 3분 22초가 소요되었다.

이후 잠수사 #2는 72초, 29초, 109초, 55초, 90초, 45초를 기록하였으며 수중구조시간과 수면인양시간은 각각 4분 25초와 2분 15초가 걸렸다. 잠수사 #3의 수중구조시간과 수면인양시간은 각각 3분 43초와 2분 45초가 소요되었으며, 잠수사 #4와 #5의 경우는 각각 2분 48초와 2분 43초, 4분 43초와 4분 55초를 기록하였다.

결과적으로 시나리오 I에 대해 총 5회의 잠수 실험을 수행한 결과, 잠수사 #1의 수중에서의 DMA 로프에 꼬이는 돌발 상황을 제외하고는 대체로 유사한 기록을 나타내었다. 수면 인양에 소요된 시간을 살펴보면 90~224 sec의 범위(평균 140 sec)를 나타내었다.

2. 수면구조과정에서 케이지와 호이스트를 사용한 실험(시나리오 II)

다음으로 수중구조 실험으로 수면까지 구조한 조난잠수사를 케이지와 호이스트로 인양하는 시나리오 II에 대해 총 5회(#6~#10)의 잠수를 수행하였다. 잠수 실험 장면을 [Fig. 7(b)]에 나타내었다. 본 시나리오는 바지선과 같은 난간이 높은 선박에 잠수사의 입수와 출수를 위해 LARS가 설치된 선박에서 발생할 수 있는 조건으로 수면에 반쯤 잠겨있는 케이지에 의식이 없는 조난잠수사를 탐승시켜 호이스트로 데크까지 이송하도록 하

였다. 실제 현장에서는 잠수사 전용의 LARS가 구조 임무를 대신한다.

본 실험 시나리오 II에 대한 결과는 <Table 2>에 상세히 제시하였다. 결과에서 잠수사 #6의 입수에서부터 장비 해체 완료까지의 시간이 각각 48초, 22초, 75초, 75초, 50초, 53초가 소요되었으며, 수중구조시간은 3분 40초와 수면인양시간은 1분 43초가 걸렸다. 이후 잠수사 #7과 #8의 수중구조시간과 수면인양시간은 각각 3분 11초와 2분

17초, 3분 36초와 1분 20초가 소요되었다. 마지막으로 잠수사 #9와 #10의 수중구조시간과 수면인양시간은 각각 3분 26초와 2분 13초, 3분 18초와 2분 20초를 기록하였다.

결과적으로 시나리오 II에 대해 총 5회의 잠수 실험을 수행한 결과, 전체 잠수사의 수면 인양에 소요된 시간은 24~94 sec의 범위(평균 60 sec)를 나타내었다.

<Table 2> The rescue times for diving 1st~5th, 6th~10th of this experimental study

| Diving # | Individual split time during task Sections(sec) | | | | | | Diver Down -> Equipment Removal | |
|------------------------------|---|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| | Diver Down -> In the water | Underwater rescue | | | Surface recovery | | | |
| | | -> Reached Bottom | -> Leaving Bottom | -> Reached Surface | -> Diver on Deck | -> Equipment Removal | | |
| Scenario 1 (stretcher) | # 1 | 45 | 49 | 611 [*] | 33 | 122 | 80 | 940 |
| | | | 738(12 min 18 sec) | | | 202(3 min 22 sec) | | (15 min 40 sec) |
| | # 2 | 72 | 29 | 109 | 55 | 90 | 45 | 400 |
| | | | 265(4 min 25 sec) | | | 135(2 min 15 sec) | | (6 min 40 sec) |
| | # 3 | 33 | 21 | 128 | 41 | 107 | 58 | 388 |
| | | 223(3 min 43 sec) | | | 165(2 min 45 sec) | | (6 min 28 sec) | |
| | # 4 | 18 | 22 | 85 | 43 | 154 | 69 | 391 |
| | | 168(2 min 48 sec) | | | 223(2 min 43 sec) | | (6 min 31 sec) | |
| | # 5 | 103 | 48 | 81 | 51 | 224 | 71 | 578 |
| | | 283(4 min 43 sec) | | | 295(4 min 55 sec) | | (9 min 38 sec) | |
| Scenario 2 (cage) | # 6 | 48 | 22 | 75 | 75 | 50 | 53 | 323 |
| | | | 220(3 min 40 sec) | | | 103(1 min 43 sec) | | (5 min 23 sec) |
| | # 7 | 45 | 13 | 62 | 71 | 24 | 113 | 328 |
| | | | 191(3 min 11 sec) | | | 137(2 min 17 sec) | | (5 min 28 sec) |
| | # 8 | 58 | 27 | 58 | 73 | 49 | 31 | 296 |
| | | 216(3 min 36 sec) | | | 80(1 min 20 sec) | | (4 min 56 sec) | |
| | # 9 | 43 | 27 | 72 | 64 | 82 | 51 | 339 |
| | | 206(3 min 26 sec) | | | 133(2 min 13 sec) | | (5 min 39 sec) | |
| | # 10 | 29 | 18 | 122 | 29 | 94 | 46 | 338 |
| | | 198(3 min 18 sec) | | | 140(2 min 20 sec) | | (5 min 38 sec) | |

* Cause of failure: the standby diver fouled himself at bottom rescue by DMA rope which must not to be cut

V. 결과 및 고찰

본 연구에서는 표면공급식 헬멧잠수사들이 수중사고 발생 시 견현이 높은 선박에서의 수면 인양방법으로 사용할 수 있는 두 가지 시나리오를 선정하고, 구조잠수사에 의해 수면까지 구조된 의식 없는 조난잠수사를 데크까지 안전하게 효과적으로 끌어 올려 실질적인 응급조치가 가능하게 하는 데까지의 시간을 측정하였다. 결과적으로 실험에서 얻어진 결과는 다음의 [Fig. 8]과 같이 요약할 수 있다.

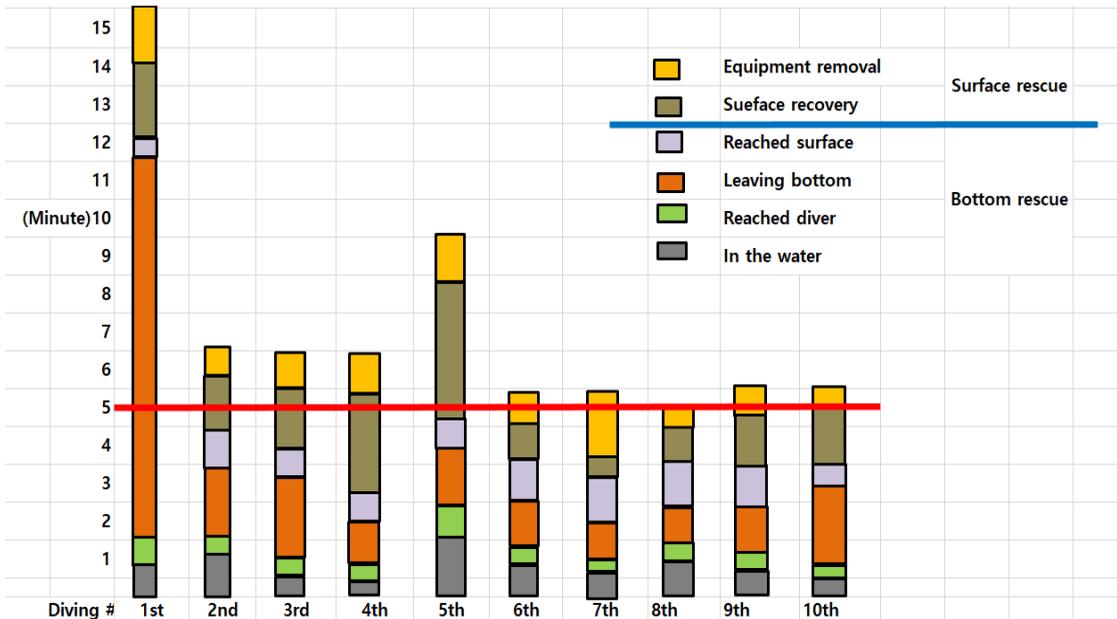
먼저 수면인양과정에서 들것과 호이스트를 이용한 시나리오 I의 경우 전체 평균 구조시간은 8분 59초가 소요되었으며 이중 평균 수중구조시간은 5분 35초, 수면인양시간은 3분 24초가 걸렸다. 이중 DMA 로프에 걸려 수중구조에 시간이 지체된 잠수사 #1의 기록을 제외하면 전체 구조시간은 7분 26초로 평균 수중구조시간과 수면인양시간은 각각 4분 1초와 3분 25초를 기록하였다.

다음으로 수면인양과정에서 다이빙 케이지와

호이스트를 이용한 시나리오 II의 경우를 살펴보면 전체 평균 구조시간은 5분 25초가 소요되었으며, 평균 수중구조시간은 3분 26초, 수면인양시간은 1분 59초가 걸렸다.

시나리오 I과 시나리오 II의 전체 평균 구조시간을 비교하면 시나리오 I의 잠수사 #1의 기록을 제외할 경우 수면인양과정에서 케이지를 사용하였을 때 평균 2분 1초가 단축되었다. 또한 시나리오 II의 경우 시나리오 I에 비해 수면 인양에 소요된 평균 시간을 고려해 보면 전체적으로 약 27%의 시간 단축이 이루어졌음을 알 수 있다.

구체적으로 실험결과에 대해 살펴보면 잠수사 #1의 경우 수중에서 DMA 연결 로프에 구조잠수사 자신의 엄빌리컬이 감겨 수중구조에 시간이 지체되었는데 이는 겨울방학 동안의 훈련 중단과 바뀐 수중 구조조건에 적응이 덜 된 상태였기 때문으로 생각된다. 이후 매주 진행된 실험 잠수에서는 모두 안정적인 실험을 진행할 수 있었다. 실험의 결과도 시나리오 I과 시나리오 II의 순수 수중구조구간에서도 수중구조 시간이 지체된



[Fig. 8] The individual split times for diving 1st~5th, 6th~10th for this experiment.

잠수사 #1의 기록을 제외하면 각각 4분 1초와 3분 26초였으며 시나리오 II에서는 35초가 단축된 결과를 얻을 수 있었다.

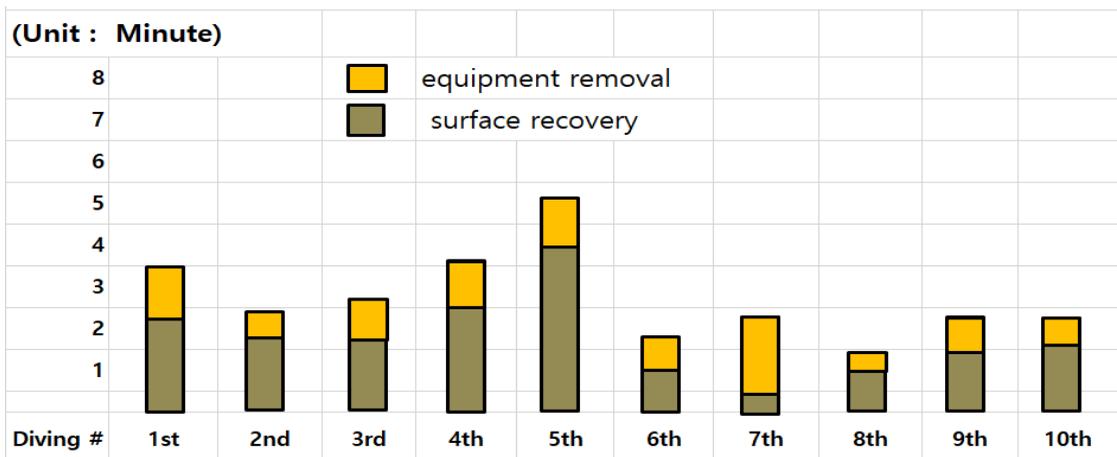
시나리오 I과 시나리오 II의 평균 수면인양시간을 비교하면 수면인양에서 케이지를 사용하였을 때 평균 1분 26초가 단축되었다(<Table 3>, [Fig. 9]). 시나리오 I의 경우 수면에서 조난잠수사를 들것에 싣는 과정에서 조난잠수사와 들것을 혼자서 통제하는데 시간을 소비한 반면에 시나리오

II의 경우 케이지를 수면 또는 수면 아래까지 내려 중력이 거의 작용하지 않는 상태에서 조난잠수사를 케이지에 밀어 넣으면 되기 때문에 많은 시간 단축이 가능하였다. 이는 해수면이 해양과랑 작용으로 거칠고 선박의 건현이 높아 다른 구조인력의 도움이 미치지 못할 때 다이빙 케이지가 매우 효과적으로 구조 임무를 수행할 수 있음을 의미한다.

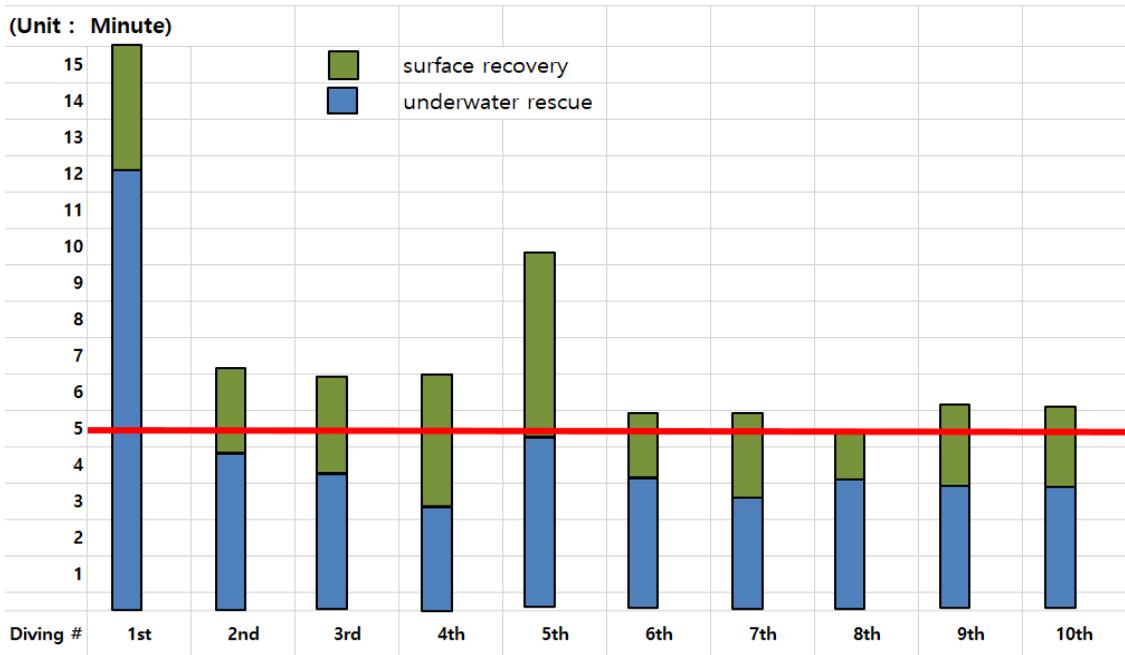
<Table 3> The average split and total time for diving 10th of this experimental study

| Cases | Average split time during task Sections(sec) | | | | | | | |
|------------|--|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----|
| | Diver Down -> In the water | Underwater rescue | | | Surface recovery | | Diver Down -> Equipment Removal | |
| | | -> Reached Bottom | -> Leaving Bottom | -> Reached Surface | -> Diver on Deck | -> Equipment Removal | | |
| Scenario 1 | Case 1 | 54 | 34 | 203 | 45 | 139 | 65 | 539 |
| | | 335(5 min 35 sec) | | | 204(3 min 24 sec) | | (8 min 59 sec) | |
| Scenario 1 | Case 2 | 57 | 30 | 107 | 48 | 144 | 61 | 446 |
| | | 241(4 min 01 sec) | | | 205(3 min 25 sec) | | (7 min 26 sec) | |
| Scenario 2 | Case 3 | 45 | 21 | 78 | 62 | 60 | 59 | 325 |
| | | 206(3 min 26 sec) | | | 119(1 min 59 sec) | | (5 min 25 sec) | |

※ Case 1(Diving # of 1, 2, 3, 4, 5), Case 2(Diving # of 2, 3, 4, 5), Case 3(Diving # of 5th~10th)



[Fig. 9] The individual surface recovery time comparison between diving 1st~5th, 6th~10th.



[Fig. 10] The individual total rescue time comparison between diving 1st~5th, 6th~10th.

두 가지 시나리오의 구조구간별 기록을 세부적으로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 첫 번째로 장비 착용 후 입수 완료까지 가장 빠른 경우는 잠수사 #4로 18초였으며 가장 느린 경우는 잠수사 #5로 1분 43초였다. 전체 평균은 50초로 기존 연구(Park et al., 2018)보다 10여 초가 단축되었다. 이는 학년이 올라갈수록 평소에 장비를 다룰 기회가 많아졌기 때문으로 생각되며, 실제 수중조난이 예측되는 상황이라면 미리 헬멧을 착용하고 대기 하는 것이 입수 시간을 단축하는 방법일 것이다.

반면 구조 완료 후의 장비 해체에 걸린 시간은 데크와 다이빙 케이지의 좁은 공간적 제약으로 기존 연구(Park et al., 2018)와 비교해 오히려 20여 초가 증가한 평균 1분을 기록하였다.

둘째, 입수 완료 후 조난잠수사에게 도착하는 데까지 걸린 시간을 살펴보면 수심 9 m의 경우 미 해군의 최대 하강속도인 75 fsw/min.를 따랐을 때 대략 22초가 걸려야 하는데 실험 잠수사 #7과

#10이 13초와 18초로 이를 초과하였다. 수면까지 상승하는 데에는 미 해군의 최대 상승속도인 30 fsw/min.를 따랐을 때 잠수사 #1, #3, #4, #5, #10번이 제한속도를 초과하였다. 그러나 미 해군 잠수규정이 분당 20초에서 40초 사이의 경미한 변화는 허용하고 있으므로(US NAVY, 2016) 본 연구 결과의 상승속도는 응급상황을 고려하면 잠수사 #1과 #10을 제외하면 모두 정상적인 상승으로 해석하는 것이 가능하다.

셋째, 수중에서 조난조건을 해결하고 잠수사를 구조하는데 걸린 시간은 최초 잠수사 #1을 제외할 때 평균 1분 33초가 걸렸다. 실제 잠수현장에서의 사고는 잠수사 #1의 경우보다는 더 복잡하고 위급한 조건일 것이기 때문에 적절한 준비와 판단이 무엇보다 중요하며 잠수사 #1의 경우 실제 구조 상황이었다면 조난잠수사의 상태에 따라 본 실험과는 반대로 DMA 로프를 절단했어야 할 것이다.

넷째, 수면 인양과정에서 다이빙 케이지를 사

용하였을 때 가장 빠른 잠수사 #7의 경우 24초에 불과하였으며 가장 늦은 잠수사 #10의 94초도 들것을 사용하였을 때 가장 빠른 잠수사 #2의 90초와 거의 비슷하였다. 케이지를 사용할 때 변화의 폭이 작아 안정적인 수면 구조 결과를 얻을 수 있었다. 이는 향후 구조장비, 훈련의 횟수와 수준을 결정할 때 고려해야 할 중요한 요소로 생각된다. 본 실험에서도 수면 인양과정에서 단축된 시간이 전체 구조시간에 영향을 미쳐 전체 구조시간이 약 2분 정도 단축되었다(<Table 3>).

Ⅶ. 결론 및 제언

본 연구에서는 표면공급식 헬멧잠수사들의 건현이 높은 잠수 선박에서 잠수 활동 중 발생할 수 있는 수중구조 시나리오를 선정하여, 수중구조의 골든타임으로 설정한 5분 안에 수중에서 의식을 잃은 조난잠수사를 구조하여 수면까지 이송한 후, 수면 인양과정을 거쳐 실질적인 응급조치를 할 수 있도록 조치하는 데까지 걸린 시간을 측정하였다. 본 연구는 수심 10 m의 수중에서 건현이 높은 잠수 선박을 가정하여 수면에서 데크까지의 높이를 1 m로 설정하여 실시하였다. 본 연구의 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같이 제시할 수 있다.

첫째, 수면에서의 장비 착용과 입수 완료에 걸린 시간은 평균 50초로 기존연구에 비교하여 10여 초가 단축된 결과를 얻었다. 반면 구조 완료 후 정비 해체에 걸린 시간은 20여 초가 증가한 평균 1분이 걸렸다.

둘째, 실제 수심 9 m에서 주어진 수중 조난조건을 해결하고 순수하게 잠수사를 구조하는데 걸리는 시간은 장비 착용과 입수, 규정된 속도의 하강과 상승, 수면 인양과 장비 해체에 걸리는 시간을 제외하면 불과 1분여 정도밖에 여유가 없음을 알 수 있었다.

셋째, 수면과 데크까지의 높이가 1 m일 때 데

크의 다른 구조인력이 수면의 구조잠수사를 효과적으로 도와줄 방법이 없어 구조잠수사 혼자 조난잠수사를 들것에 싣는 과정에서 시간이 지체되어 수면인양시간이 지체되었다.

넷째, 수면과 데크까지의 높이가 1 m일 때 수면 인양과정에서 케이지를 사용하였을 때 평균 1분 26초가 단축되었다.

다섯째, 다이빙 케이지를 사용할 경우 수중구조구간에서도 35초가 단축된 결과를 얻어 들것을 사용할 경우보다 수중과 수면에서 모두 안정적인 구조 결과를 얻었으며, 결과적으로 전체 구조시간에서 수중구조의 골든타임으로 설정한 5분에 근접한 5분 25초의 결과를 얻을 수 있었다.

이상의 연구결과를 종합해 두 가지 시나리오에 대한 실험결과를 비교해 보면 수면 인양과정에서 들것과 호이스트를 사용하였을 때 조난잠수사를 데크까지 끌어올려 실질적인 응급처치가 가능하게 조치하는 데까지 걸린 시간은 모두 수중구조의 골든타임을 초과하였으며, 수면 인양과정에서의 인양 지체가 주된 원인이었다. 반면에 수면 인양과정에서 다이빙 케이지를 사용하였을 때 수중구조의 골든타임에 근접할 수 있었는데, 그 주요 원인은 수면 인양과정에서 단축된 시간이 전체 구조시간 단축에 영향을 미쳤기 때문이다.

결론적으로 다이빙 케이지를 사용함으로써 수면 인양과정에서 얻어진 단축된 시간을 미 해군 잠수규정이 정한 하강속도와 상승속도를 지키는데 할애하여 구조잠수사의 안전을 희생하지 않고도 수중구조의 골든타임에 근접할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 순수하게 수중구조에 허용된 시간 안에 구조를 완료할 수 있도록 다양한 수중조난조건에 대비하고, 다이빙 케이지와 같은 인양장비를 준비한다면 일부 제한된 수심까지는 수중구조의 골든타임 안에 조난잠수사를 구조하는 것이 어느 정도 가능할 것이다(Fig. 10).

아울러 평소에도 잠수 팀원들이 수중상황을 파악할 수 있도록 수중과의 통신내용이나 CCTV를 통해 충분한 정보를 제공한다면 구조에 필요한

방안이나 장비를 준비하는 데 많은 도움이 될 것이다.

한편, 본 연구는 헬멧잠수사로서 현장경험이 없는 학생들을 대상으로 수심 9 m에서 잠수사를 구조하는 강화된 구조조건에서 하강속도와 상승속도를 준수하면서 진행되었음에도 수면 인양에서 다이빙 케이지를 사용하였을 때 안정적인 구조시간을 얻을 수 있었다. 이는 향후 견현이 높은 수면 인양조건에서 다이빙 케이지를 활용한다면 본 연구에서보다 더 우수한 구조 결과를 얻을 것으로 판단한다.

또한 시나리오 I의 경우처럼 LARS 같은 장비가 구비 되지 않은 선박에서 조난잠수사의 심각한 부상 등을 이유로 부득이 수면 인양과정에서 들것을 사용해야 한다면 물에 뛰어들어 구조잠수사를 도와줄 수 있는 수면 구조자를 활용할 것을 제안한다. 이는 인양시간의 단축 정도에 따라 수중구조의 골든타임을 지키는데 매우 중요한 역할을 할 것이 예상된다.

References

- ADCI(2016). International Consensus Standards for Commercial Diving and Underwater Operations(6.2 Edition), Houston, Association of Diving Contractors International, Inc., 330.
https://www.adc-int.org/files/C12181_International%20Consensus%20Standards.pdf
- DNVGL(2011). Diving Support Vessels and Diving Systems, Oslo, DNVGL, 24.
<https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/ruleship/2011-07/ts516.pdf>
- DNVGL(2013). Dynamic Positioning Systems, Oslo, DNVGL, 26.
http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/gl/maritimerrules/gl_i-1-15_e.pdf
- DNVGL(2017). Whitepaper Transport Logistics, Evaluation of the effect of different logistic conditions applied to oil supply chain, Oslo, DNVGL, 29.
<https://www.dnvgl.com/Images/Maros-Transport-logist>
- ics-Whitepaper_tcm8-86967.pdf
- HSE(2014). Commercial diving projects inland/inshore, Bootlee, HSE, 47.
<http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/1104.pdf>
- HSE(2014). Commercial diving projects offshore, Bootlee, HSE, 53.
<http://www.hse.gov.uk/PuBns/priced/1103.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/>
- IMCA(2014). Guidance for Diving Supervisors, London, The International Marine Contractors Association, D 022 Rev. 1.
<https://www.imca-int.com/>
- Ji SW, Choi MS and Kim YB(2015). A Study on Position Mooring System Design for the Vessel Moored by Mooring Lines, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 20(6), 2824~2831.
<http://dx.doi.org/10.1109/TMECH.2015.2407612>
- Kim SG, Lee YS, Jung ch, Cho YS and Kong KY(2012). The Dictionary of Vessel and Navigation terms, Pusan, Dasom books.
- 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>
- Oil Companies International Marine Forum(OCIMF) (2015). Offshore Vessel Inspection Database (OVID), Programme, Vessel Inspection Questionnaires for Offshore Vessels (OVIQ), 57~66.
- OSHRI research report(2015). A study on the research on the actual condition and cost-benefit analysis for commercial diving work, KOSHA, 145.
<http://oshri.kosha.or.kr>
- Park H(2016). A study on the safe work for industrial diver engaged in port construction work, Pukyong National University, Ms thesis, pp.11~23.
- 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>
Sim KB, Cha JH and Kang SY(2016). Analysis of the commercial diving national qualification system for the introduction of a diving supervisor, J. Korean Soc. of Marine Engineering, 40(7) 655~662.
<http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2016.40.7.655>

United States Navy(2016). U.S. Navy Diving Manual, Rev. 7, SS521-AG-PRO-010, 0910-LP-115-1921.

-
- Received : 03 May, 2019
 - Revised : 17 June, 2019
 - Accepted : 28 June, 2019