



## 표면공급식 헬멧 잠수사의 수중 구조 실험 연구

박상원 · 김원석 · 윤한삼\*

한국폴리텍대학 강릉캠퍼스(교수) · \*부경대학교(교수)

### Experimental Study on Underwater Rescue of Surface-supplied Helmet Divers

Sang-Weon PARK · Won-Seok KIM · Han-Sam YOON\*

Korea Polytechnics Gangneung Campus(professor) · \*Pukyong National University(professor)

#### Abstract

In this study, we examined the rescue and surface recovery times of surface-supplied helmet divers under two underwater rescue scenarios: (i) umbilical cable-free (or can be freed) unconscious diver requiring no separation from the umbilical cable, allowing surface recovery of the diver via harness lift; and (ii) umbilical cable-attached (or can not be detached) unconscious diver who must be detached from the umbilical cable for surface recovery via either a stretcher or a lifting method. Four umbilical cable-free dives and ten umbilical cable-attached dives were carried out to evaluate the underwater rescue and surface recovery times under each scenario. The water depth in the experiment was 20 m and an optimal rescue time of 5 minutes (min) was set. The results of this study are as follows. 1) The average rescue time (from “diver down” to “diver on deck”) for the umbilical cable-detached dives (four dives) was 7 min 22 seconds (s), divided into an underwater rescue time of 4 min 52 s and a surface recovery time of 2 min 30 s. 2) The average rescue time of umbilical cable-attached dives (10 dives) was 8 min 54 s, divided into an underwater rescue time of 5 min 10 s and a surface recovery time of 3 min 44 s. 3) Umbilical cable-attached dives required an additional 20 s for underwater rescue and an additional 1 min 15 s for surface recovery compared with the umbilical cable-free dives. 4) The underwater rescue time stabilized after the second and third dives for the cable-detached and cable-attached dives, respectively. 5) The surface recovery time for the cable-attached dives depended on the individual diver's knowledge of surface rescue and team work by the rescue crew.

**Key words** : Commercial diver, Surface-supplied helmet diver, Diving accident, Golden time, Underwater rescue scenario, Underwater rescue & surface recovery

#### I. 서론

국내 해양공사에서의 산업잠수 환경은 기존 해안선(inshore) 중심에서 먼 바다(offshore)로까지 확대되면서 공사 형태는 물론 수심도 깊어지고 시야나 조류 조건 등 수중 환경이 다양하게 변화가

고 있다(Yang, 2017).

국내 산업잠수는 선진 해양 국가들에 비해 해양 및 수중에 대한 낮은 의식수준과 사고방식(인식)이 정립되어 있지 않을 뿐만 아니라, 미흡한 관련 법규, 제도 및 기준 등이 산업잠수 발전을 저해하고 있다(Park, 2018). 특히 전문적인 해양/

† Corresponding author : 051-629-7375, yoonhans@pknu.ac.kr

\* 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 일부 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2018R1D1A1B07049564)

수중 건설공사에서 산업잠수 작업에 대한 발주 기준이나 방법이 불명확하여 인원·장비를 제대로 갖추지 못한 영세업체를 양산하는 등의 문제점(Kim, 1999; Kim, 2013), 산업 잠수 현장의 수요와 맞물려 수중전문건설업체들이 무분별하게 자격을 갖추지 않은 잠수사들을 고용하다보니 안전사고와 부실시공으로 연결되곤 하였다(Sim et al., 2016).

아울러 산업 잠수사(Commercial diver 혹은 Industrial Diver)들이 과도한 해저체류시간, 빠른 상승속도, 감압 수심에서 생략된 감압, 무리한 반복잠수 등으로 인한 감압병으로 수중 안전사고에 노출되어 있다고 볼 수 있다(Sim, 2013). 대체로 깊은 수심에서 오랜 시간을 체류해야하는 산업잠수의 경우 적절한 체온유지 방법을 강구해야한다. 체온유지에 실패할 경우 여러 가지 신체적 문제를 야기할 수 있는데 불활성기체의 용해도 증가는 감압병 발병에 영향을 미칠 수 있으며 저체온증에 노출될 위험도 높아진다(Kim et al., 2017).

일반적으로 산업 잠수사들이 주로 사용하는 장비는 표면공급 잠수방식(Surface Supplied Diving System, SSDS)이다. 주로 SCUBA 다이버와 구별하는 개념으로 헬멧 잠수사(Helmet diver) 또는 표면공급식 잠수사(Surface-Supplied Diver, SSD)를 의미한다. 이미 국내에 도입된 지 오래며 현재 유전과 관련된 구조물이나 조류발전기 설치공사 등 여러 현장에서 활용되고 있다(Kim, 2013).

헬멧 잠수사는 수면으로부터 엄빌리컬(Umbilical, 공기공급을 위해 헬멧과 연결된 줄)을 통해서 호흡기체를 공급받으며 특히 머리를 보호할 수 있도록 제작된 잠수용 헬멧(Diving helmet)을 사용한다. 헬멧의 내부에 형성되는 공기층은 잠수사의 신체 중 체온을 가장 많이 빼앗기는 머리를 물로부터 분리시키기 때문에 잠수사의 체온을 유지하는데 매우 중요한 역할을 한다(KMDSI, 2014).

이에 본 연구에서는 표면공급식 잠수체계

(SSDS) 중 헬멧 잠수사에게 발생할 수 있는 수중 사고의 유형을 선별하여 수중구조 시나리오를 설정하였으며, 실제 산업잠수사 교육과정에 재학생인 학생들을 대상으로 수중구조실험을 수행하였다.

이를 통해 실제 실험 잠수 시 시나리오에 따라 각기 다르게 주어지는 수중조난조건을 해결하고 잠수사를 구조하는데 걸리는 시간을 구조구간별로 측정하였다. 얻어진 시간을 분석하여 같은 구조조건의 시나리오에 어느 정도의 훈련을 반복하면 수중사고에서의 구조 골든 타임(Golden time) 안에 조난잠수사를 수면까지 이송시킬 수 있는지에 대한 개선된 구조 절차와 방법에 대해 살펴보고자 하였다.

## II. 수중 구조 실험

### 1. 수중 구조 시나리오 선정

표면공급식 잠수사(SSD)는 엄빌리컬을 통하여 수면으로부터 무한의 공기를 공급 받을 수 있는 반면에 엄빌리컬로 인하여 활동의 제한을 받게 된다. 이와 같은 제한은 특히 잠수사가 수중에서 조난을 당했을 때 중요해지는데, 엄빌리컬이 수중활동 중에 장애물에 감기거나 구속되지 않게 관리하는 것이 중요하다. 따라서 담당 텐더는 책임지고 있는 잠수사의 엄빌리컬을 너무 느슨하지 않게 관리하고 잠수사 스스로도 자신의 엄빌리컬이 장애물에 걸리지 않도록 주의해야 한다.

본 연구에서는 엄빌리컬의 구속 및 잠수사의 의식 유무를 기준으로 다음과 같은 3가지 수중구조 시나리오를 설정하였다.

(가) 엄빌리컬이 구속 안 된 의식 없는 잠수사 수중에서 활동 중인 잠수사와의 통신이 두절되고 엄빌리컬 당김 신호에도 응답이 없다면 수퍼바이저는 위급상황으로 간주하고 즉시 구조잠수사를 내려 보내야 한다. ‘엄빌리컬이 구속 안 된’ 경우는 엄빌리컬이 구속되었어도 다이빙 칼 등

간단한 도구로 장애물을 제거하고 잠수사를 구조하여 상승하는 것이 가능한 경우이다. 조난잠수사를 엄빌리컬로부터 분리하는 위험부담과 분리하는데 소비되는 시간도 절약할 수 있어 수중구조시간이 늘어나는 것을 방지할 수 있다. 엄빌리컬이 자유 상태로 유지된다면 엄빌리컬을 통한 지속적인 공기공급이 가능하고 상승도중 잠수사를 분실하는 위험도 줄어든다. 엄빌리컬이나 EGS(Emergency Gas Supply)로부터 공기공급이 가능하다면 약간의 양압(Positive pressure), 즉 자유흐름(Free flow) 상태를 유지하는 것이 헬멧의 침수를 예방하고 상승도중 잠수사가 의식을 회복한 경우에 호흡하는데 도움이 된다.

(나) 엄빌리컬이 구속된 의식 없는 잠수사

앞에서 살펴본 바와 같이 수중구조의 골든 타임은 길지 않다. 따라서 ‘엄빌리컬이 구속된’ 경우란 엄빌리컬을 구속하고 있는 장애물을 제거하기가 불가능하거나 제거하는데 많은 시간이 걸릴 것으로 예상되는 경우에 잠수사를 엄빌리컬에서 분리하여 구조해야 하는 경우다. 엄빌리컬이 분리되면 조난잠수사는 더 이상 엄빌리컬을 통해서 공기를 공급 받을 수 없게 되기 때문에 조난잠수사의 EGS 잔량을 확인하고 구조잠수사 자신의 뉴모 호스를 개방하여 조난잠수사의 헬멧에 꽂아 구조 중 빠지지 않게 한다. 분리절차는 통신선과 공기호스를 헬멧에서 순서대로 분리하고 하네스(Harness) D-ring에 고정된 엄빌리컬을 분리한 후 더 이상의 장애물 접촉이 없는지 확인한 후 상승한다. 상승도중 상승속도를 유지하고 잠수사의 머리를 세운 자세로 유지한다.

(다) 엄빌리컬이 구속된 의식 있는 잠수사

‘의식 있는 잠수사’의 경우란 시간을 두고 엄빌리컬의 구속하고 있는 장애물을 제거하고 잠수사를 구조하거나 조난잠수사의 부상, 수온, 날씨의 변화 등 응급의 정도에 따라 엄빌리컬을 분리하여 잠수사를 구조하는 경우다. 엄빌리컬을 분리해야 한다면 조난잠수사에게 제공할 공기공급

원을 확보하는 것이 중요하다. 표면공급식 잠수사는 일반 자가휴대 잠수방식(Self Contained Diving System, SCDS)과는 다르게 수면에서 뉴모 호스(Pneumo. hose)로 공기를 쏘아 수심을 측정하는데 이 뉴모 호스는 긴급한 상황에서 아주 중요한 비상용 예비공급원이 된다. 조난잠수사의 EGS가 남아있다면 상승 중에 사용할 수 있다.

이상의 수중 구조 시나리오를 구조과정별로 세분화하여 정리하면 <Table 1>과 같이 나타낼 수 있다. 수중에서 인명사고를 초래할 수 있는 사고 유형을 ‘엄빌리컬이 구속 안 된 의식 없는 잠수사’와 ‘엄빌리컬이 구속된 의식 없는 잠수사’로 설정하였다. ‘엄빌리컬이 구속 안 된 의식 없는 잠수사’는 ‘하네스를 이용한 수면 인양’으로 ‘엄빌리컬이 구속된 의식 없는 잠수사’는 다시 ‘들것을 이용한 수면 인양’과 ‘들것과 호이스트를 이용한 수면인양’으로 세분화하였다.

2. 수중 구조 실험 방법

본 연구에서 실시된 실험 잠수는 [Fig. 1]과 같이 산업잠수 교육이 주로 행해지는 잠수수조에서 수행되었다. 수조 수심(2~5 m)을 고려하여 조난수심 20 m는 수평 방향으로 잠수하여 수행하는 것으로 설정하였다. 실험에서 수중구조에 걸리는 시간을 측정하기 위해 수중구조단계, 수면인양단계로 구간을 나누어 기록을 측정하였다. 조난잠수사는 모두 부상이 있거나 부상 여부를 알 수 없는 것으로 설정하였다. 잠수장비와 인원, 상승속도 등의 잠수규정은 U.S. Navy Diving Manual (2016)과 ADCI(2016), IMCA(2014) 규정을 따랐다.

본 연구에서는 ADCI, IMCA의 표면공급식 공기잠수에서의 최소인원 규정에 따라 잠수 팀의 인원을 5명으로 구성하였으며 순번에 따라 임무를 교대로 수행하였다. 수퍼바이저에게 권한과 책임이 집중되는 산업잠수의 특성을 고려하여 수퍼바이저가 통신과 잠수조종반을 모두 담당하도록 하였다. 산업잠수가 주로 행해지는 20 m를 잠

수수심으로 ‘엄빌리컬이 구속 된’ 강화된 구조 조건을 수중구조 시나리오에 반영하였으며 수중 구조의 끝은 타임은 5분으로 설정하였다. 실험에 사용된 장비는 [Fig. 2]와 같다.

가. 임무배정

실험에서 잠수 팀의 각 임무는 다음과 같다.

(1) 수퍼바이저(Supervisor): 잠수 조종반(Air control systems)을 운용하며 잠수사와의 통신이 두절되면 엄빌리컬 당김신호를 실시하게 하고 응답이 없으면 구조잠수사의 투입을 결정한다. 수

중조난조건에 맞는 구조방법을 결정하고 상승속도를 통제하며 수중구조와 수면인양 등 전체 과정에서 책임자 역할을 수행한다.

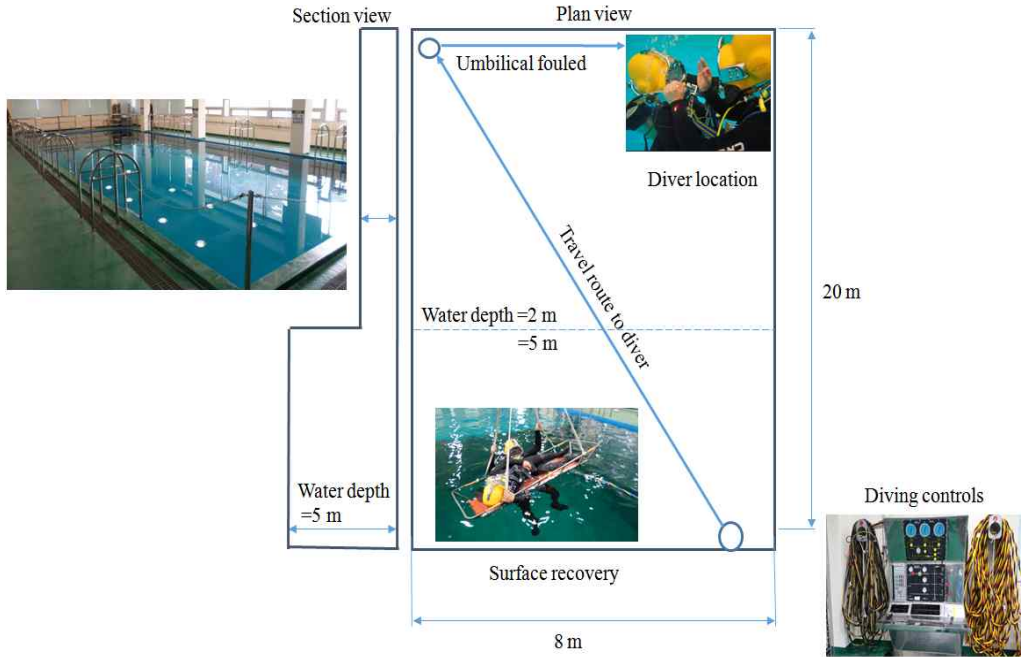
(2) 메인 잠수사(Main diver): 정상적인 절차에 따라 입수하고 하강하여 지정된 장소에서 조난잠수사 역할을 수행한다.

(3) 메인 잠수사 텐더(Main diver tender): 조난잠수사의 장비와 헬멧착용을 보조하고 조난잠수사의 엄빌리컬의 전개와 회수를 전담한다.

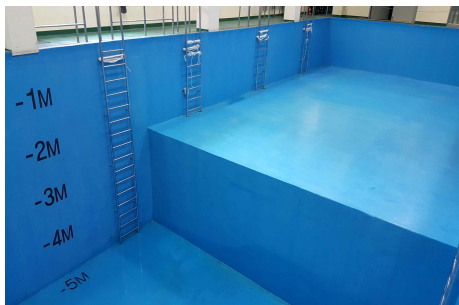
<Table 1> Summary of two underwater rescue scenarios: umbilical cable-detached (or can be detached) and umbilical cable-attached (or cannot be detached) divers

Task Section	Summary of Tasks		
	umbilical freed(or can be freed)		umbilical fouled(or can not be freed)
Preparation	Prepare for diving and diving station		
	STBY diver get equipped and tested to stand-by		
	Main diver placed on the bottom as a victim diver		
	Set umbilical conditions can be freed(or can not be freed)		
"Diver down"	Disconnect the communication to the bottom without notice		
	Inform to all crew and call for rescue "Diver down, Diver down"		
	Time starts and STBY diver starts to put on the diving helmet		
In the water	Supply the diver's pneumo. with appropriate pressure		
	STBY diver jump in the water		
Reached Diver (underwater rescue)	Descending follow the diver's umbilical		
	Check the Air supply and Vent the diver's helmet		Check the Air supply and Vent the diver's helmet Open the EGS remains If available and required Check the diver's consciousness and surroundings Place the STBY diver's pneumo. into the diver's helmet(if needed) Separate the umbilical from the diver's helmet Clear the diver from surrounded obstacles
	Open the EGS remains If available and required		
	Check the diver's consciousness and surroundings		
	Freed the diver's umbilical if possible		
	Clear the diver from surrounded obstacles		
Clear the diver from surrounded obstacles			
Leaving Bottom	Prepare for travel to surface and start coming up		
	Maintain the diver's head straight and ascending rates		
Reached Surface	Pull up the diver with care to recover the diver from the water	Use stretcher to recover the diver from the water	Use stretcher and hoist to recover the diver from the water
Diver on Deck	Remove the helmet and undressed the diving gears		
	Check for the diver's condition or injury		
	Conduct CPR/O2 or neurological exam		
Evacuation	Put the diver into the chamber or transfer (if required)		

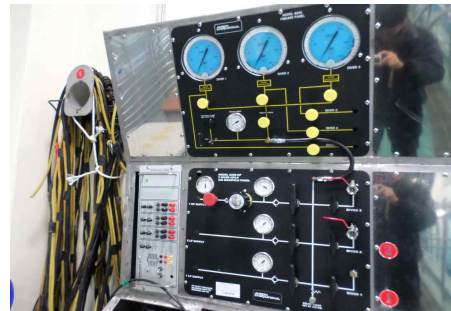
표면공급식 헬멧 잠수사의 수중 구조 실험 연구



[Fig. 1] Diving pool for the experimental study



(a) Diving pool with ladders



(b) Diving umbilical and controls



(c) Diving helmet and bailout system



(d) HP compressor and bailout tanks

[Fig. 2] Equipment for the experimental study

(4) 스탠바이 잠수사(Standby diver): 수중에서 조난잠수사를 구조하여 수면까지 이송하는 역할을 수행한다.

(5) 스탠바이 잠수사 텐더(Standby diver tender): 구조잠수사의 장비와 헬멧착용을 보조하고 구조잠수사의 엄빌리컬 전개와 회수를 전담한다.

#### 나. 기록 측정 구간

전체 수중구조과정을 6개 구간으로 나누어 구조구간에 따라 단계별로 소요되는 시간을 측정하였다. 통신이 두절된 잠수사가 엄빌리컬 당김신호에 응답이 없으면 수퍼바이저는 즉시 잠수사의 뉴모를 개방하고 ‘다이버 다운, 다이버 다운!’을 크게 외쳐 팀원 전체에게 응급상황을 알리고 구조잠수사에게 헬멧 착용을 지시할 때 기록측정을 시작하여 조난잠수사의 수중구조를 완료하고 데크까지 끌어올려 헬멧을 벗겨 실질적인 응급처치가 가능하게 하였을 때 기록측정을 종료하였다. 다음은 기록 측정 구간의 상세 정의를 나타낸다.

(1) 입수 완료(Diver down-diver in the water): ‘다이버 다운(Diver down!)’에서부터 구조잠수사가 수면에서 헬멧을 착용하고 입수를 완료하여 하강준비를 마치는데 까지 수면에서 걸린 시간.

(2) 하강 완료(In the water-reached bottom): 구조잠수사가 수면을 떠나 조난잠수사에게 도착하는데 까지 걸린 하강 시간.

(3) 구조 완료(Reached bottom- leaving bottom): 바닥에 도착한 구조잠수사가 조난잠수사의 헬멧을 환기시켜 의식과 공기공급 상태를 확인하고, 엄빌리컬의 구속여부 및 구조방법을 결정하고 장애물을 제거하여 실질적인 상승이 가능하게 하는데 까지 걸린 수중구조 시간.

(4) 상승 완료(Leaving bottom-reached surface): 구조 잠수사가 바닥을 떠나 상승을 시작하여 수면에 도착하는데 까지 걸린 상승 완료 시간(본 실험에서는 수심 20 m의 구조를 가정하였기 때문에 구조장소를 떠나 원래의 입수장소로 이동하는 시간). 미 해군 잠수교본의 상승속도 분당

30fsw(Feet of sea water)를 초과하여 이동할 수 없도록 하였다(US Navy, 2016).

(5) 수면인양 완료(Reached surface - diver on deck): 수면까지 구조한 조난잠수사를 들것이나 호이스트를 이용하여 데크로 끌어올리는 수면인양과정에서 소요된 시간.

(6) 장비해체 완료(Diver on deck-Equipment removal): 데크에 끌어올려진 조난잠수사에게 실질적인 응급처치가 가능하도록 헬멧을 벗기고 장비 해체를 완료하는데 까지 걸린 시간.

#### 다. 기록 측정 방법

구간별로 기록을 측정하는 방법은 기록담당자의 직접 육안으로 관찰하며 기록하는 것과 구조잠수사와 수퍼바이저의 통신내용을 통해서 기록하는 방법이 있다.

일반적으로 본 실험에서처럼 기록 담당자가 육안 또는 수중 CCTV를 포함하여 전체 구조과정을 관찰하는 것이 가능하다면 구조과정을 여러 단계로 세분화하는 것이 가능하다. 하지만 육안 관찰이 불가능한 경우에는 육안관찰이 가능한 구간인 ① 잠수사 다운에서 입수완료구간, 육안관찰이 불가능한 구간인 ② 입수완료부터 상승 완료구간, 다시 육안관찰이 가능한 구간인 ③ 수면인양 및 장비해체구간으로 크게 세 구간으로 기록측정구간을 단순화하여 측정할 수 있다. 그러나 이때에도 잠수사의 안전을 위해 하강과 상승 속도는 반드시 지켜야 한다(US Navy, 2016).

잠수사와의 통신내용을 바탕으로 기록을 측정할 때 구조잠수사가 구조에만 집중하여 구간마다의 통신보고에 실패하게 되면 정확한 기록측정은 불가능해진다. 따라서 수중구조구간에서의 정확한 기록측정과 구조잠수사의 상승속도를 통제하기 위해서는 구조잠수사가 구조구간별 순서와 임무에 맞게 정확한 통신을 할 수 있을 정도의 철저한 사전 교육이 전제되어야 한다.



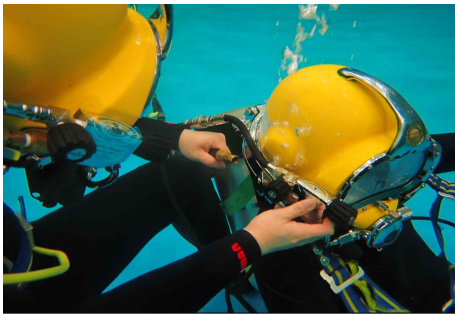
### Ⅲ. 수중 구조 실험 결과

#### 1. 엠빌리컬이 구속 안 된 실험(시나리오 1)

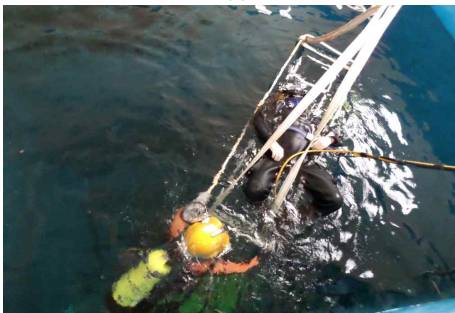
첫 번째 수중구조 실험으로 엠빌리컬을 풀 수 있는(구속 안 된) 의식 없는 잠수사 구조 시나리오에 대해서 총 4회의 잠수를 실시하였다. 잠수 실험 장면을 [Fig. 3]에 나타내었다.

이는 수중에서 의식을 잃은 조난잠수사의 엠빌

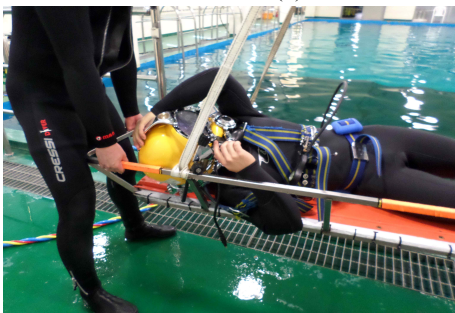
리컬이 수중구조물이나 장애물에 구속되지 않았거나 또는 단순한 노력으로 그런 장애를 극복할 수 있는 조건에 해당한다. 현장에서 가장 흔히 발생하는 형태의 구조조건으로 조난잠수사의 헬멧을 환기시켜 공기공급 상태와 의식 확인 등 기본적인 초동조치를 취한 후 장애물에 의한 특별한 제약 없이 곧바로 수면까지 상승할 수 있도록 하였다.



(a) Underwater rescue performance for unconscious diver



(b) Unconscious diver surface recovery method



(c) Surface recovery & equipment removal

[Fig. 3] Underwater rescue performance and surface recovery times for an unconscious diver

수면인양과정에서도 들것을 사용하지 않고 조난잠수사의 하네스를 잡아 데크로 끌어 올릴 수 있도록 하였다.

결과적으로 상술한 경우의 실험 결과는 <Table 2> 및 [Fig. 4]와 같다.

먼저 입수완료 시간을 살펴보면 1번 잠수에서는 슈퍼바이저의 구조지시에 따라 구조잠수사가 헬멧 착용을 완료하고 입수하는 과정에 통상장애가 발생함으로써 입수시간이 크게 지체되었다. 이에 반해 2번 잠수에서 98초, 3번과 4번 잠수에서는 41~45초의 양호한 결과를 얻었다.

입수를 완료 후 조난잠수사의 엄빌리컬을 따라

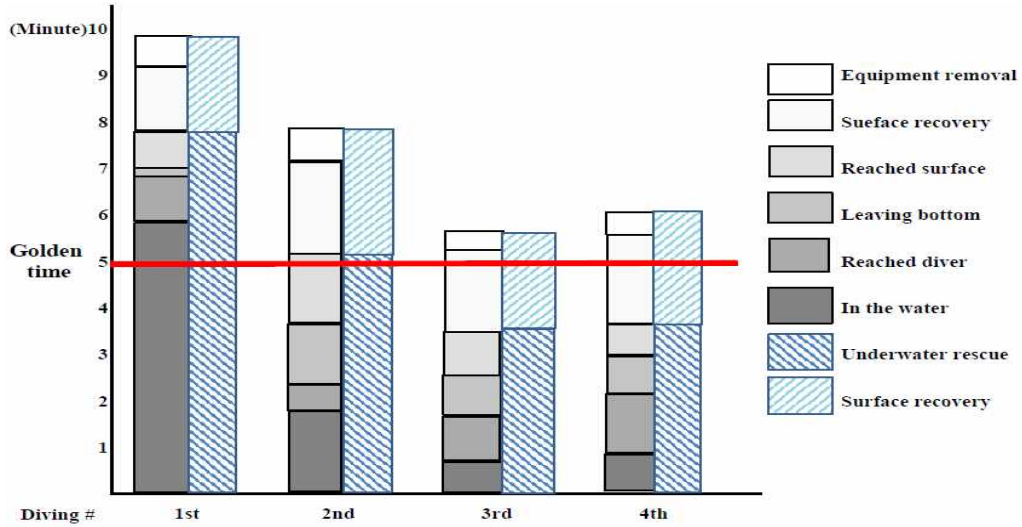
하강하여 조난잠수사를 발견하기까지는 순서대로 53초, 34초, 59초, 78초가 걸렸다. 하강속도를 초과한 2번 잠수를 제외하면 미 해군 잠수규정을 준수하는 양호한 하강속도를 보였다. 또한 구조잠수사가 조난잠수사를 구속하고 있는 장애물을 제거하고 상승이 가능한 상태가 되기까지의 수중 구조에 걸린 시간은 각각 25초, 86초, 51초, 42초가 소요되었다. 이후 구조를 완료하고 상승을 시작하여 수면에 도착하는데 걸린 시간은 각각 41초, 87초, 53초, 35초가 소요되었다. 모든 구조잠수사가 규정된 상승속도를 1분에서 1분 30초까지 초과하였다.

<Table 2> Rescue times for the 14 dives performed during the study

Diving #	Average split time during task Sections(sec)							
	Underwater rescue			Surface recovery		Diver Down -> Equipment Removal		
	Diver Down -> In the water	-> Reached Bottom	-> Leaving Bottom	-> Reached Surface	-> Diver on Deck		-> Equipment Removal	
Scenario 1	# 1	341a	53	25	41	83	49	592
			460(7min 40sec)			132(2min 12sec)		(9min 52sec)
	# 2	98	34	86	87	125	45	475
			305(5min 05sec)			170(2min 50sec)		(7min 55sec)
	# 3	41	59	51	53	111	24	339
			204(3min 24sec)			135(2min 15sec)		(5min 39sec)
	# 4	45	78	42	35	126	36	362
		200(3min 20sec)			162(2min 42sec)		(6min 02sec)	
Scenario 2	# 5	86	114	155	98	161	41	655
			443(7min 33sec)			205(3min 25sec)		(10min 55sec)
	# 6	83	77	28	95	52	45	380
			283(4min 43sec)			97(1min 37sec)		(6min 20sec)
	# 7	45	46	90	367b	132	24	704
			548(9min 08sec)			156(2min 36sec)		(11min 44sec)
	# 8	60	62	78	66	123	32	421
		266(4min 26sec)			155(2min 35sec)		(7min 01sec)	
Scenario 2	# 9	53	87	51	50	177	32	450
			241(4min 01sec)			209(3min 29sec)		(7min 30sec)
	# 10	45	48	61	68	379c	29	630
			222(3min 42sec)			408(6min 48sec)		(10min 30sec)
	# 11	58	64	69	83	109d	27	410
			274(4min 34sec)			136(2min 16sec)		(6min 50sec)
	# 12	52	103	25	91	234	42	547
		271(4min 31sec)			276(4min 36sec)		(9min 07sec)	
Scenario 2	# 13	77	45	22	138	443d	54	779
			282(4min 42sec)			497(8min 17sec)		(12min 59sec)
	# 14	64	52	78	63	71d	35	363
		257(4min 17sec)			106(1min 46sec)		(6min 03sec)	

※ Cause of failure - a; Communication failure, b: Separation failure of umbilical, c: Surface missing, d: Hoist failure





[Fig. 4] Split rescue times for dives 1-4

그리고 수면에 도착한 잠수사를 하네스를 잡아 당겨 데크에 끌어올리는데 걸린 시간은 각각 83초, 125초, 111초, 126초가 걸렸다. 데크에 끌어올려진 조난잠수사의 헬멧을 벗기고 장비를 해제하는데 걸린 시간은 각각 49초, 45초, 24초, 36초가 걸렸다.

결과적으로 전체 실험 결과가 골든 타임 5분을 모두 초과하는 상황을 나타낸 반면에 실험이 반복됨에 따라서 구조잠수사의 수중 구조 실험 소요 시간이 전반적으로 단축됨을 알 수 있다.

## 2. 엠빌리컬이 구속된 실험(시나리오 2)

### 가. 들것 사용의 경우

두 번째 수중구조 실험으로 엠빌리컬을 풀 수 없는(구속된) 의식 없는 잠수사를 구조하는데 걸리는 시간을 측정하기 위해 10회의 잠수를 추가로 실시하였다. 이는 수중에서 의식을 잃은 조난잠수사의 엠빌리컬이 수중구조물이나 장애물에 의해 구속되었거나, 또는 단순한 노력으로 그런 장애를 극복할 수 없는 조건에 해당한다.

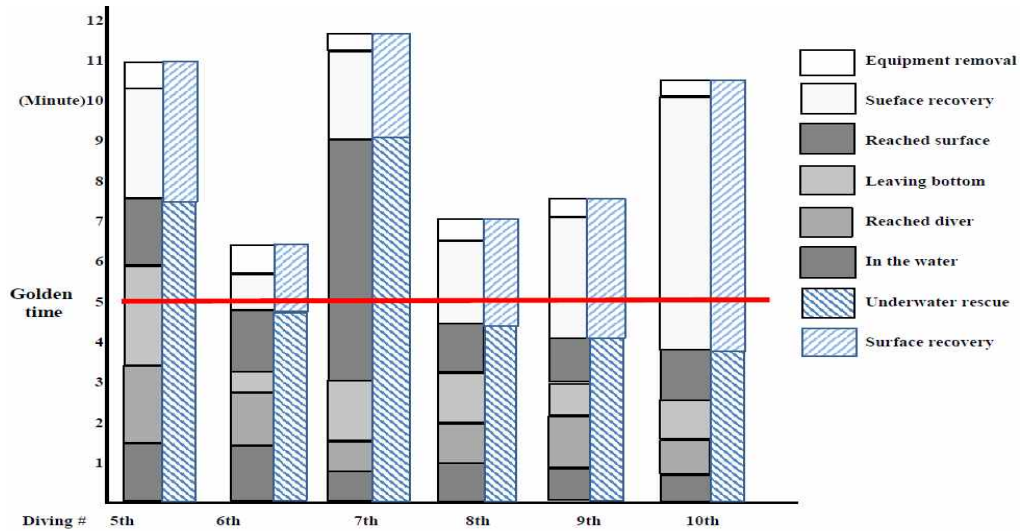
조난잠수사의 부상여부를 알 수 없는 것으로 가정하여 5번부터 10번까지의 6번의 잠수에서는

조난잠수사를 수면에서 들것에 실어 끌어올리도록 하였다

결과적으로 상술한 경우의 실험 결과는 <Table 2> 및 [Fig. 5]와 같다.

입수완료 시간을 살펴보면 5번 잠수는 시나리오가 ‘엠빌리컬이 구속된’ 상황으로 전환되어 처음 실시된 잠수로서 5번과 6번 잠수에서의 입수완료시간이 각각 86초와 83초가 걸렸다. 이후 7, 8, 9, 10번 잠수의 입수 완료시간은 각각 45초, 60초, 53초, 45초가 걸렸으며 모두 1분 안쪽의 양호한 입수완료 결과를 얻었다.

입수 완료 후 잠수사에게 도착하는데 걸린 시간은 순서대로 114초, 77초, 46초, 62초, 87초, 48초가 걸렸다. 하강속도를 초과한 7번과 10번 잠수를 제외하면 미 해군 잠수규정을 준수하는 양호한 하강속도를 보였다. 수중구조 완료 시간의 경우 5~10번 구조에서 각각 155초, 28초, 90초, 78초, 51초, 61초가 걸렸다. 본 실험에서 처음 실시한 5번 잠수의 경우 다소 시간이 지체되었다. 이는 수중에서 엠빌리컬을 분리해야 하는 복잡한 구조과정에 대한 전반적인 이해 부족이 원인으로 판단된다. 6번 잠수에서도 수중구조시간이 28초에 불과한 것을 보면 통신보고를 제대로 하지



[Fig. 5] Split rescue times for dives 5-10

못하였거나 수중구조절차를 이해하지 못하여 곧바로 초등초치 없이 엄빌리컬을 분리한 것으로 판단된다. 7번 잠수의 경우 구조잠수사가 수중에서 조난잠수사의 엄빌리컬을 분리했어야 하나 조난잠수사의 EGS를 연결하는 QD(Quick disconnect)를 분리하고 상승을 시도하였으나 수중에 구속된 엄빌리컬로 인하여 출수지점까지 도달하지 못하여 재 하강하여 엄빌리컬을 분리하고 상승하느라 시간이 지체 되었다. 위의 7번 잠수를 포함하여 수면 도착시간은 각각 98초, 95초, 367초, 66초, 50초, 68초가 걸렸으며 모든 잠수사가 규정된 상승속도를 30초에서 1분 정도 초과하였다.

또한 구조 시나리오 중 수면 인양방법이 하네스에서 들것으로 바뀌는 첫 번째 잠수로 수면에 도착한 잠수사를 들것에 실어 데크에 끌어올리는데 걸린 시간은 각각 161초, 52초, 132초, 123초, 177초, 379초가 걸렸다. 특히 10번 잠수의 경우 수면까지 구조한 조난잠수사를 수면 구조인력에 인계하는 과정에서 바닥으로 추락하여 시간이 지체되었다.

마지막으로 데크에 끌어 올린 조난잠수사의 헬멧 및 장비를 해체하는데 걸린 시간은 각각 41

초, 45초, 24초, 32초, 32초, 29초가 걸렸다.

나. 들것과 호이스트 사용의 경우

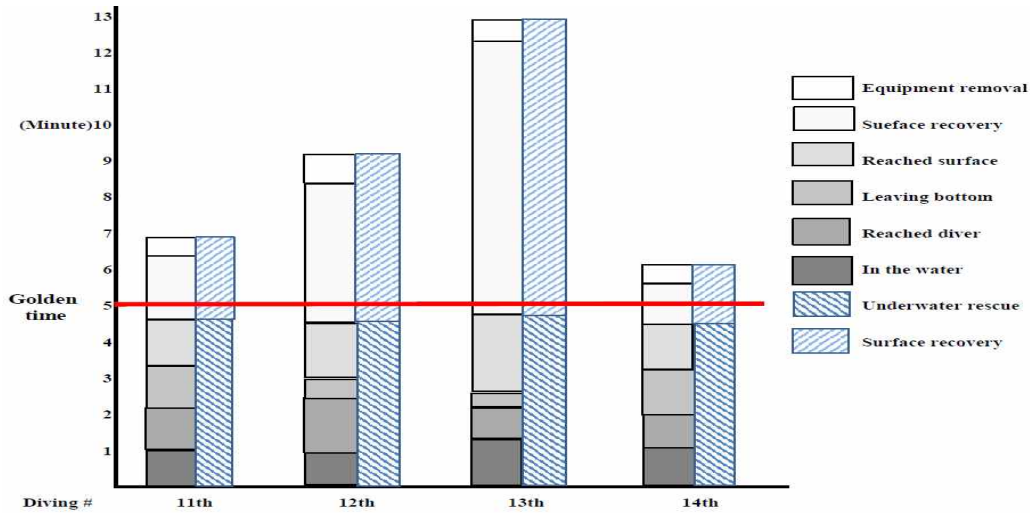
<Table 2> 및 [Fig. 6]에서 11번부터 14번까지의 4번의 잠수에서는 잠수사를 실은 들것을 호이스트에 걸어 인양하도록 하였다.

실험 결과에서 살펴보면 11번 잠수는 ‘엄빌리컬이 구속된 의식 없는 잠수사’ 시나리오 중 수중 구조과정은 같으나 수면인양과정에서 들것에 실은 잠수사를 호이스트에 연결하여 인양하는 것으로 전환되어 처음 실시되는 잠수이다. 11, 12, 13, 14번 잠수의 입수 완료시간은 각각 58초, 52초, 77초, 64초의 결과를 얻었다.

입수를 완료 후 조난잠수사에게 도착하기까지는 순서대로 64초, 103초, 45초, 52초가 걸렸다. 구조잠수사가 수중구조를 완료하는데 걸린 시간은 각각 69초, 25초, 22초, 78초가 걸렸다.

조난잠수사가 수면에 도착하는데 걸린 시간은 각각 83초, 91초, 138초, 63초가 걸렸다. 모든 잠수사가 규정된 상승속도를 30초에서 1분까지 초과하였다.

수면인양과정에서 들것에 실은 잠수사를 호이스트에 연결하여 인양해야 하는 11번 잠수부터는



[Fig. 6] Split rescue times for dives 11-14

수면인양에 걸린 시간은 각각 109초, 234초, 443초, 71초가 걸렸다. 또한 조난잠수사의 헬멧을 벗기고 장비를 해체하는데 걸린 시간은 각각 27초, 42초, 54초, 35초가 걸렸다.

결과적으로 조난잠수사의 ‘엄빌리컬이 구속된’ 상황을 해결하고 상승하는 경우 및 수면 인양방법이 하네스에서 들것으로 바꾼 전체 실험 결과에서도 골든 타임 5분을 모두 초과하였다.

#### IV. 결과 고찰

본 연구에서는 엄빌리컬을 풀 수 있는(구속 안된) 경우와 풀 수 없는(구속된) 의식 없는 경우의 잠수사 구조 시나리오에 대해서 실험을 수행하였다. 전체 실험 14회 중에서 통신, 호이스트 등의 잠수 실수를 별도로 분류하여 평균값을 정리하면 <Table 3> 및 [Fig. 7]과 같이 나타낼 수 있다.

먼저 처음 1~4번 잠수(Case 1)에서의 평균 입수완료시간은 평균 131초가 걸렸다. 입수 완료 후 하강하는데 56초, 초동조치와 장애물 제거 등 수중구조에 평균 51초가 걸렸으며 바닥을 출발하여 수면에 도착하는데 까지 걸린 시간은 평균 54초였다. 수면인양과정에 평균 111초가 걸렸으며

조난잠수사의 헬멧과 장비를 해체하는데 평균 39초가 소요되었다.

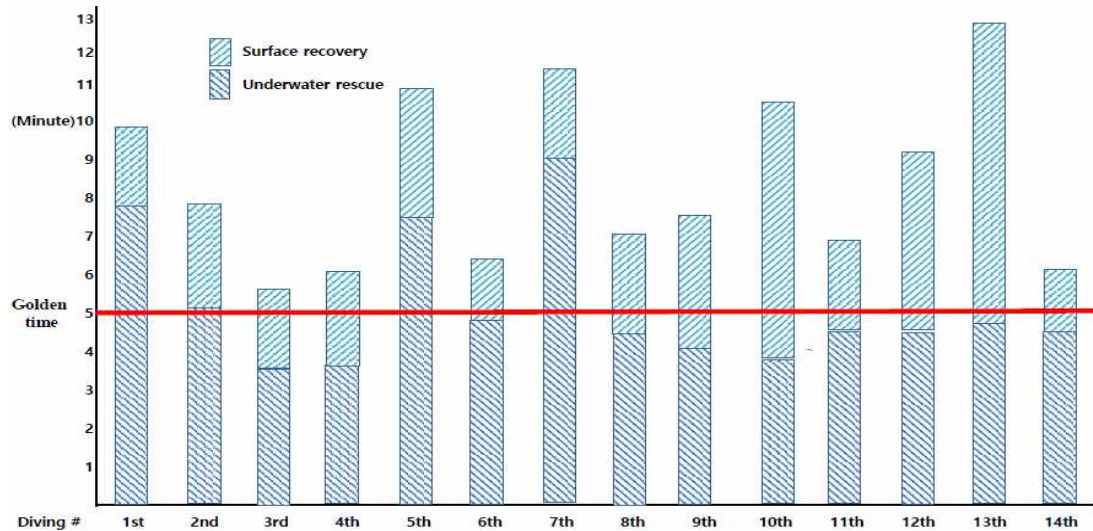
입수 전 통신 장비의 이상으로 입수가 지연되었던 1번 잠수를 제외한 나머지 2, 3, 4번 잠수(Case 2)에서의 입수완료 평균 시간은 61초로 단축되었으며 그 외의 구간별 기록은 평균적으로 비슷하였다. 전체 평균 구조시간도 약 50초가 단축되었다.

5~14번 잠수(Case 3)에서의 입수완료 시간은 평균 62초, 입수 완료 후 잠수사에게 도착하기까지 평균 구간기록은 70초가 걸렸다. 공기공급 상태 확인과 뉴모 호스를 통한 공기공급하기 등의 엄빌리컬 분리를 위한 준비절차를 거쳐 조난잠수사를 엄빌리컬을 분리하고 상승하기까지의 수중구조과정에서 평균 66초가 걸렸다. 수면도착 시간은 평균 112초, 조난잠수사를 들것에 실어 데크로 끌어올리는데 수면인양과정에서 평균 188초, 헬멧 등 장비를 해체하는데 평균 36초가 걸렸다. 결과적으로 5~14번 잠수(Case 3)에서의 평균 구조 시간은 8분 54초였다. 이 중 수중구조단계에 걸린 평균 시간은 평균 5분 10초였으며 수면구조단계에 걸린 평균시간은 3분 44초였다.

<Table 3> Average split rescue times and total rescue times for all dives

Cases		Average split time during task Sections(sec)						Diver Down -> Equipment Removal
		Underwater rescue			Surface recovery			
		Diver Down -> In the water	-> Reached Bottom	-> Leaving Bottom	-> Reached Surface	-> Diver on Deck	-> Equipment Removal	
Scenario 1	Case 1	131	56	51	54	111	39	442
			292(4min 52sec)			150(2min 30sec)		(7min 22sec)
	Case 2	61	57	60	58	121	35	392
			236(3min 56sec)			156(2min 36sec)		(6min 32sec)
Scenario 2	Case 3	62	70	66	112	188	36	534
			310(5min 10sec)			224(3min 44sec)		(8min 54sec)
	Case 4	65	80	69	78	132	36	460
			292(4min 52sec)			168(2min 48sec)		(7min 40sec)
	Case 5	82	66	62	95	166	37	508
			305(5min 05sec)			203(3min 23sec)		(8min 28sec)
	Case 6	64	73	66	72	129	36	440
			275(4min 35sec)			165(2min 45sec)		(7min 20sec)

※ Case 1(Diving # of 1, 2, 3, 4), Case 2(Diving # of 2, 3, 4), Case 3(Diving # of 5th ~ 14th), Case 4(Diving # of 5th ~ 14th dropping 7, 10 & 13th), Case 5(Diving # of 1st ~ 14th), Case 6(Diving # of 1st ~ 14th dropping 1, 7, 10 & 13th)



[Fig. 7] Underwater rescue and surface recovery times for dives 1-14

조난잠수사가 수중 장애물에 구속된 조건에서 진행된 10번의 실험 잠수 중 7, 10, 13번 잠수의 경우 다음과 같은 이유로 구조 시간이 지체되었다. 먼저 7번 잠수에서는 잠수사가 실수로 엄빌

리컬을 헬멧에서 분리하지 않은 채 그대로 상승을 시도하였으나 구속된 엄빌리컬 때문에 수면에 도달하지 못하였다. 10번째 잠수에서는 수면 인양과정에서 조난잠수사가 바닥에 추락하였으

며, 13번째 잠수에서는 잠수사를 실은 들것을 호이스트에 연결하는 과정에서 들것의 슬링(Sling)이 꼬이는 일이 발생하였다. 위 3가지의 경우 일반적으로 현장에서 발생 가능한 통신장애로 인한 입수지연과 수중에서의 구조실패와 수면에서의 인양지연 등에 해당한다고 판단된다.

이상과 같이 시간이 지체된 7, 10, 13번의 잠수 기록을 제외하면 Case 4와 같이 수중구조시간과 수면인양시간은 각각 4분 52초와 2분 48초가 되었으며 전체 구간에 대한 평균 구조시간은 7분 40초가 되었다. 결과적으로 시간이 지체된 7, 10, 13번의 잠수기록을 모두 포함했을 때와 비교하여 약 1분 14초의 구조시간의 차이를 확인할 수 있었다.

본 연구에서의 총 14번의 잠수 중 통신장애로 인한 입수지연과 수중에서의 구조실패와 수면에서의 인양지연을 포함한 모든 잠수기록을 종합하였을 때의 평균 구조시간은 Case 5와 같이 8분 28초가 소요되었다.

이 중 수중구조구간과 수면인양구간에 대한 평균 구조시간은 각각 5분 05초와 3분 23초가 걸렸다. 수중구조구간에서는 본 연구에서 수중구조의 골든 타임으로 설정한 5분에 근접하였다. 그러나 수면인양구간에서의 구조시간을 포함하면 본 연구에서 수중구조의 골든 타임으로 설정한 5분을 초과하였다(Fig. 7).

총 14번(1~14번)의 잠수 중 통신장애 등 시간이 크게 지연되었던 1, 7, 10, 13번의 잠수기록을 모두 제외하였을 경우(Case 6) 평균 구조시간은 7분 20초였다. 이 중 수중구조구간과 수면인양구간에 대한 평균 구조 시간은 각각 4분 35초와 2분 45초가 걸렸다. 수중구조구간에 대한 평균 구조 시간의 경우 골든 타임으로 설정한 5분을 초과하지 않았으나 수면인양구간에서 지체된 평균 구조 시간을 더하면 전체 구조구간 시간이 수중구조의 골든 타임을 초과함을 알 수 있다.

## V. 결론

본 연구에서는 표면공급식 헬멧다이버에게 자주 발생할 수 있는 두 가지의 구조 시나리오를 선정하여 수중구조의 골든 타임을 5분으로 설정하고 수중에서 의식을 잃은 조난다이버를 구조하여 수면까지 이송한 후 수면인양과정을 거쳐 장비를 해체하고 실질적인 응급처치를 실시할 수 있는데 까지 걸린 시간을 측정하였다. 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같이 제시할 수 있다.

첫째, 수면에서 장비를 착용하고 입수를 완료하기까지 시간은 수면에서의 준비상태와 장비착용의 숙달정도에 따라 차이를 보이나, 모든 수면 준비가 완료된 상태에서 평균 1분 정도가 걸린 것을 감안하면 입수단계에서는 더 이상의 시간단축이 어려워 보인다.

둘째, 실험에서 가정한 수심 20 m까지 도달하는데 걸리는 시간은 약 1분이 경과하였으며 이는 미 해군 잠수 매뉴얼이 규정한 분당 최대 하강속도인 75 fsw/min.를 준수한 속도이므로 하강구간에서 더 이상의 시간 단축은 구조다이버의 안전을 희생하지 않는 한 어려워 보인다.

셋째, 수심 20 m에서 수면까지 상승하는데 걸리는 시간은 2분 이상이어야 하나 본 실험에서는 미 해군 잠수매뉴얼이 규정하는 최대 상승속도인 30 fsw/min.를 초과하였다. 규정된 최대 상승속도를 지킨다면 상승에 걸리는 시간이 늘어날 것이며 이는 전체 구조시간에도 영향을 미칠 것으로 보인다.

넷째, 수면과 테크 높이의 차이가 약 30 cm에 불과했음에도 수면에서 다이버를 끌어올리는데 평균 2분 이상의 많은 시간이 소비되어 전체 구조시간이 늘어나는데 가장 결정적인 원인으로 작용하였다.

이상의 결과를 종합해 보면 본 연구에서의 실험 잠수 결과는 수중에서 의식을 잃은 다이버를

수면까지 구조하는 데는 수중구조의 골든 타임(5분)에 어느 정도 만족하였으나 데크(Deck)까지 끌어올려 실질적인 응급처치가 가능하게 하는데 까지 걸린 시간은 모두 수중구조의 골든 타임을 초과하였다. 앞서 살펴본 바와 같이 수면으로부터 수심 20 m까지 하강하는데 필요한 약 1분과 수심 20 m로부터 수면까지 상승하는데 필요한 약 2분의 시간은 구조다이버의 안전을 어느 정도 희생하지 않는 한 더 이상은 단축할 수 없는 부분이라 할 수 있다. 결국 ① 수면 입수단계에서 헬멧 착용과 입수에 걸리는 시간, ② 다양하게 부여되는 수중구조조건을 해결하는데 걸리는 시간, ③ 수면 인양과정에서 조난다이버를 데크로 끌어올리는데 걸리는 시간을 단축할 수 있어야만 수중구조의 골든 타임(5분) 안에 조난다이버 구조가 가능할 것이다.

한편, 본 연구는 헬멧 다이버로서 현장경험이 전혀 없는 학생들을 대상으로 강화된 수중구조 조건에서 진행되었음에도 일부 잠수를 제외하면 각각의 시나리오가 2~3회 진행된 후부터는 수중구조 시나리오에서 가장 중요한 수중구조구간에서 모두 안정적인 구조시간을 얻을 수 있었다. 이는 향후 구조조건이 적절하게 반영된 시나리오에 따라 주기적인 훈련을 반복 실시한다면 본 연구에서와 같은 실수들은 충분히 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

ADCI(2016). International Consensus Standards for Commercial Diving and Underwater Operations(6.2 Edition), Houston, Association of Diving Contractors International, Inc., pp.330.  
 IMCA(2014). Guidance for Diving Supervisors, London, The International Marine Contractors

Association, D 022 Rev. 1.  
<https://www.imca-int.com/>  
 Kim DH(1999). Commercial Diving in Korea - Present Condition and Development Scheme, Korea Maritime and Ocean University, Ms thesis, pp.110.  
 Kim MH, Kang SY and Kang SB(2017). The Effects of Cold Water Diving on the Human Vital Signs and Coldness Perception, Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., 29(4), 1063~1071.  
 Kim WS(2013). Critical Limites of Commercial Diving on the Construction of Tidal Current Power in Jangjuk Channel, Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., 25(3), 733~742.  
 KMDSI(2014). Kirby Morgan SuperLite® 17C Helmet Operations and Maintenance Manual, Kirby Morgan Dive Systems, Inc., pp.143. ([www.KirbyMorgan.com](http://www.KirbyMorgan.com))  
 Park SW(2018), A study of underwater rescue scenario and time for surface supplied helmet divers, Pukyong National University, Ms thesis, pp.71.  
 Sim KB(2013). The Influences of Diving Operations Related with Underwater Commercial Worker's Recognition about Utilization of Chamber, Pukyong National University, Ms thesis, pp.83.  
 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.  
 United States Navy(2016). U.S. Navy Diving Manual, Rev. 7, SS521-AG-PRO-010, 2-i, 11~16.  
 Yang TG(2017). A study on the safe work for diver engaged submarine cable installation, Pukyong National University, Ms thesis, pp.58.

- 
- Received : 09 August, 2018
  - Revised : 29 October, 2018
  - Accepted : 08 November, 2018