

표면공급식 헬멧잠수사를 위한 표면감압 인터벌에 대한 실험 연구

박상원* · 윤한삼

*부경대학교(학생) · 부경대학교(교수)

An Experimental Study on the Surface Interval of Surface Supplied Helmet Divers for Virtual Surface Decompression Applications

Sang-Weon PARK* · Han-Sam YOON

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

Abstract

As a part of experimental study for surface supplied helmet diver rescue scenarios, There were laid out eight dives to figure out how we apply the *Surface Interval 5 minutes* to virtual surface decompression instead of in-water decompression at commercial diving sites. The conclusions of this study can be summarized as follows: 1) The average ascending time from 40 fsw to surface 0 ft. was 1 min. 9 seconds. 2) The average time to be exposed to the atmospheric was 2 min. 42.5 seconds 3) The average descending time from 0 ft. to chamber bottom 50 ft. was 60.5 seconds. and 4) The average surface interval time was 4 min. 32.5 seconds. Some individual cases have exceeded U.S. Navy Diving Manual recommending 30 seconds for chamber travel time because of delaying at chamber pressurizing due to occurring and resolving of the equalization problem. This results revealed that the safe applying for surface decompression, we need shortened atmospheric exposure time to 3 minutes instead of 3 min. 30 seconds to extend chamber travel time to 1 minute.

Key words : Surface interval, Surface decompression, Deck decompression chamber, Commercial diver, Surface supplied helmet diver, Diver rescue scenario

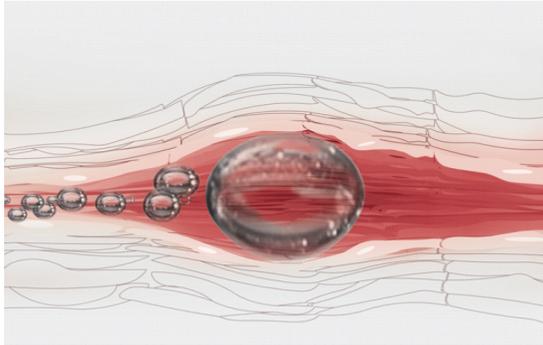
I. 서론

감압병(DCS; Decompression sickness)은 잠수를 마친 후 상승 중 또는 수면에 도착한 후 잠수사의 몸 안에 남아있던 불활성 기체의 기포 생성이 원인으로 지적되고 있다(Tatuene et al., 2014). 감압병이란 [Fig. 1(a)]에 나타낸 것과 같이 잠수 중 잠수사의 신체 조직에 축적되었던 질소 등의 비활성 기체가 적절한 감압과정을 통해 몸 밖으로

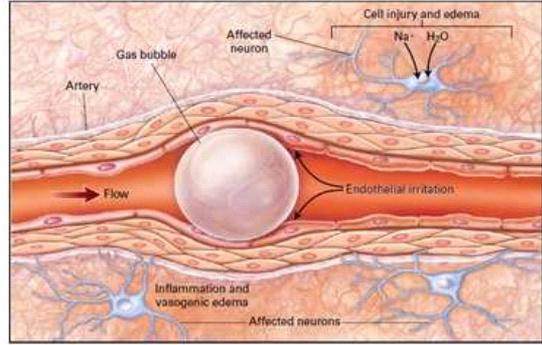
배출되지 못하면 상승 중 또는 수면 도착 후 잠수사의 혈관에 기포가 발생한다. 이렇게 발생한 기포가 모여 [Fig. 1(b)]처럼 혈관을 막을 정도가 되어 혈류를 방해하고 결국 조직 내에 적절한 산소 공급을 차단하여 발생하는 질병을 말한다(Abu-Nab et al., 2019).

감압병의 발병은 성별, 나이, 비만의 정도 등 개인 간에 차이를 보이며 조직이 받은 손상의 정도에 따라 감압병을 두 종류로 구분한다(Gempp

* Corresponding author : 033-610-6132, wetstick@naver.com



(a) Air bubbles growing in blood vessel



(b) Air bubbles affect on neuron

[Fig. 1] Air bubbles in blood vessel.

et al., 2014). Type 1 DCS는 피부증상과 근육격계 증상을, Type 2 DCS는 호흡계와 순환계에 증상을 보이며, 신경계의 경우 주로 척수 또는 뇌에서 발생하기도 한다. 아울러 동맥공기색전증 (AGE; Arterial Gas Embolism)은 폐의 압력손상에 의해 이차적으로 발생하며 두통, 경련, 의식 상실 등 신경학적 증상을 유발하여 생명을 위협하는 질병이다(Kang et al., 2017).

감압(Decompression)이란 전술한 감압병의 발병을 방지하기 위해 체내에 축적된 비활성 기체를 일정수준 이하로 낮추기 위해 상승하는 동안 감압표(Decompression table)가 지시하는 수심과 시간을 지키면서 상승하는 것을 말한다.

표면감압(Surface decompression)이란 잠수시간 동안 체내에 축적된 질소기체를 호흡을 통해 일정수준 이하로 체내 밖으로 배출해야 하는 감압과정을 수중에서 실행하는 것이 아니라 수면에 설치된 감압용 챔버(Deck Decompression Chamber; DDC)에 들어가 산소(O₂)를 호흡함으로써 수중감압(In water decompression)을 대신하는 감압 방식을 말한다(US Navy, 2016).

표면감압은 일반적인 수중감압과정에서 겪게 되는 여러 문제점으로부터 잠수사를 보호할 수 있다. 가장 큰 장점은 잠수사가 수중에 머무는 시간을 단축하는 것인데 이는 수온이 낮거나 날씨가 나쁠 경우 특히 잠수사가 수중에 머물면서

겪게 될 추위는 물론 수면 조건에 영향을 덜 받는 일정한 압력에서 안정된 감압을 할 수 있어 잠수사의 안전에 크게 도움이 된다(Kim et al., 2017).

표면인터벌(SI; Surface Interval)이란 표면공급식 잠수체계(SSDS; Surface Supplied Diving System)에서 챔버를 이용하여 표면감압을 실시할 때 잠수사가 수중 40 ft 를 출발하여 챔버 50 ft 까지 도착하는데 걸리는 시간을 의미한다(US Navy, 2016).

미해군 잠수규정은 표면감압을 위해 챔버까지 이동하는 동안 잠수사가 대기에 노출되는 시간을 최소화하기 위해 5분을 넘지 않도록 규정하고 있다. 부득이한 사정으로 5분을 초과한다면 경우에 따라 앞에서 언급한 Type 1 또는 Type 2 DCS에 준하여 대처하도록 하고 있다(US Navy, 2016).

최근 들어 산업잠수사들이 작업해야 할 수심이 깊어지는 만큼 수중에서의 작업시간을 늘리기 위해 감압 잠수는 필수요소가 되고 있다. 감압의 한 방법인 표면감압은 여러 가지 장점에도 불구하고 잠수사를 대기에 노출 시켜야 하는 위험한 표면인터벌 과정을 거쳐야 한다. 압력이 해제되는 시간이 길어지면 감압병의 발병 확률이 높아지는 만큼 표면인터벌 시간 5분은 매우 엄격하게 지켜야 한다.

이에 본 연구에서는 미해군 잠수규정에 따라

표면감압 시작점인 수중 40 ft 를 출발하여 수면에 도착하는데 걸리는 시간, 수면에 도착한 잠수사가 장비해체와 복장 탈의 등의 과정을 거쳐 챔버까지 이동하는데 걸리는 시간, 그리고 챔버를 가압하여 잠수사가 챔버 50 ft 까지 도착하는데 걸리는 시간을 측정하였다.

최종적으로 실험으로부터 얻어진 결과를 분석하여 표면인터벌 시간을 준수하기 위해 필요한 요소들과 표면인터벌 시간을 초과하게 하는 장애 요소들이 무엇인지 살펴보고자 하였다.

II. 감압 챔버

1. 감압 챔버 및 기준

가. 감압 챔버

챔버(Hyperbaric chamber)는 높은(Hyper) 압력(Baric)의 격실(Chamber)을 의미하며 잠수와 관련된 질병인 감압병과 동맥공기색전증의 치료는 물론 표면감압이나 잠수사가 되려는 지원자들을 위한 압력내성검사를 위해서 사용된다.

또한 산소를 이용하여 연탄가스로 인한 일산화탄소 중독이나 괴저, 재활치료나 당뇨합병증과 같은 다양한 질병의 치료를 위해서도 사용된다(You et al., 2014).

챔버를 의료기관에서 감압병과 같은 잠수와 관련된 질병을 치료하거나 고압산소요법(HBOT; Hyperbaric Oxygen Therapy)으로 기타의 질병을 치료할 때는 재압챔버(Recompression chamber) 또는 고압챔버(Hyperbaric chamber)라는 용어를 사용한다(Fig. 2).

산업현장에서는 챔버를 이미 발병한 감압병의 치료보다는 표면감압용으로 주로 사용하는데, 현장성을 중시하여 챔버(Deck chamber)나 감압챔버(Decompression chamber) 또는 단순히 챔버(Chamber)라 부른다. 잠수와 관련된 ‘산업안전보건기준에 관한 규칙’은 ‘기압조절실’로 명시하고 있다.



[Fig. 2] Hyperbaric chamber for medical treatment.

감압용 챔버로는 감압하는 동안 잠수사가 머무는 주격실(Inner lock)과 보조자의 출입을 위한 보조격실(Outer lock)을 갖춘 이중격실(Double lock chamber)구조의 챔버를 표준으로 사용한다(Chae et al., 2018).

나. 챔버 운영 기준

챔버 운영기준으로 미국 중심의 국제 산업잠수단체인 ADCI(Association of Diving Contractors International)는 수심 100 FSW(Feet Sea Water)까지의 모든 감압 잠수와 수심 100 fsw(30 m)부터 190 fsw(57 m)까지의 모든 잠수에서는 감압의 여부와 상관없이 165 fsw(50 m)까지 가압할 수 있는 챔버를 표면감압은 물론 잠재적인 감압병의 발병에 대처할 수 있도록 잠수현장에 배치하여 운영하도록 하고 있다(ADCI, 2016).

미해군 잠수규정(US Navy, 2016)은 표면감압이 필요한 잠수에서 특별한 예외를 제외하면 잠수사가 수심 40 ft 를 떠나 챔버 50 ft 까지 도착하는데 5분이 넘지 않는 거리에 챔버를 배치하도록 규정하고 있으며 ADCI나 IMCA 모두 본 규정을 준용하고 있다.

다. 챔버 운영 자격

표면감압을 위한 챔버 운영에 있어서 ADCI는 모든 감압이 계획된 잠수와 100 fsw(30 m)보다 깊은 잠수는 최소 잠수팀원을 슈퍼바이저 1명, 2명의 잠수사와 2명의 텐더로 구성할 것을 규정하면서 모든 잠수 인력은 반드시 챔버운영 능력을

갖추도록 하고 있다. 미국표준협회(ANSI; American National Standards Institute)와 잠수교육협회(ACDE; Association of Commercial Diving Educators)에 따르면 산업잠수사가 되기 위해서는 최소 625시간의 교육 이수가 필요하며 여기에는 챔버운영 과정이 포함돼 있다(ANSI/ACDE, 2015).

유럽과 아시아 중심의 국제 산업잠수 단체인 IMCA(International Marine Contractors Association)도 표면공급식 잠수사의 최소 훈련기준에 수중과 표면감압을 모두 구사할 수 있어야 하며, 챔버의 준비와 운영은 물론 기초적인 유지보수 능력을 갖출 것을 요구하고 있다(IMCA, 2017).

이와 비교하여 챔버운영에 대한 교육지침이나 현장에서의 운영자격에 대한 명확한 국내 규정은 찾아보기 어려우며, 잠수기능사나 잠수산업기사 자격시험에도 챔버와 관련된 실기 평가는 없었다. 그러나 세월호 참사 이후 국내 산업잠수에 대한 자격기준이 강화되면서(Sim et al., 2018) 처음으로 실시된 2019년 상반기 제1회 잠수기능장 시험에서 챔버운영을 위한 기초수준의 실기 시험이 치러진 것은 그나마 다행이며 향후 챔버교육 활성화에 많은 발전이 있을 것으로 기대된다(HRDSK, 2019).

이처럼 산업잠수사에 대한 국가검정과정에 챔버운영과 관련된 평가가 포함된 것은 매우 환영할 만한 일이지만, 챔버운영에 대한 평가는 잠수기능장 과정에서 아닌 그보다 하위단계인 잠수기능사 과정이나 적어도 잠수산업기사 과정에서 진행되는 것이 바람직하다.

라. 챔버 가압속도

미해군 표면감압규정은 수심 40 ft 에서 수면까지는 40 ft/min 의 속도로 1분에 걸쳐 상승하도록 규정하고 챔버는 100 ft/min 의 속도로 가압하도록 규정하고 있는데 이때 잠수사에게 압력 평형 등의 문제가 발생하지 않는다면 챔버 50 ft 까지 도착하는데 30초가 걸린다.

따라서 수면에 도착한 잠수사가 장비를 해체하

고 챔버까지 이동하는데 3분 30초의 여유가 있다. 그런데 여기에서의 챔버 가압속도는 최대 가압속도이므로 실제로는 압력 평형 문제나 개별 챔버의 가압능력도 함께 고려해야 한다.

실제 ADCI는 챔버 가압능력에 대해 처음 60 ft 까지는 60 ft/min 의 속도로, 그 후부터는 30 ft/min 의 속도로 가압할 수 있도록 규정하고 있다(ADCI, 2016).

마. 챔버 가압공기량

감압챔버를 운영할 때 반드시 고려해야 할 사항으로 챔버를 가압할 수 있는 충분한 공기를 확보하는 것이다([Fig. 4(b)]).

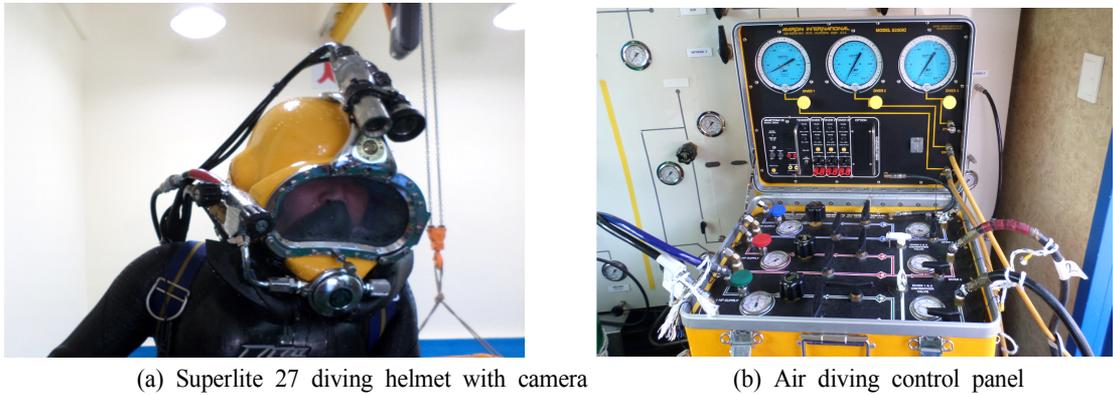
미해군 잠수규정에 따르면 주 공기 공급원으로 165 fsw(50 m)까지 주격실을 1회, 보조격실을 2회 가압할 수 있는 공기량과 챔버 내에 축적된 산소와 CO₂ 환기에 필요한 공기량을, 예비공급원으로 165 fsw(50 m)까지 주격실과 보조격실을 각 1회씩 가압할 수 있는 공기량과 환기에 필요한 공기량을 확보해야 한다. 이는 표면감압은 물론 잠수사고 중 잠수사의 생명을 위협하는 가장 위급한 상황인 동맥공기색전증에 대처하기 위한 미해군 치료표 Treatment Table 6A (TT6A)의 운영이 가능하도록 2중의 안전장치를 마련하고 있다(US Navy, 2016).

Ⅲ. 재료 및 방법

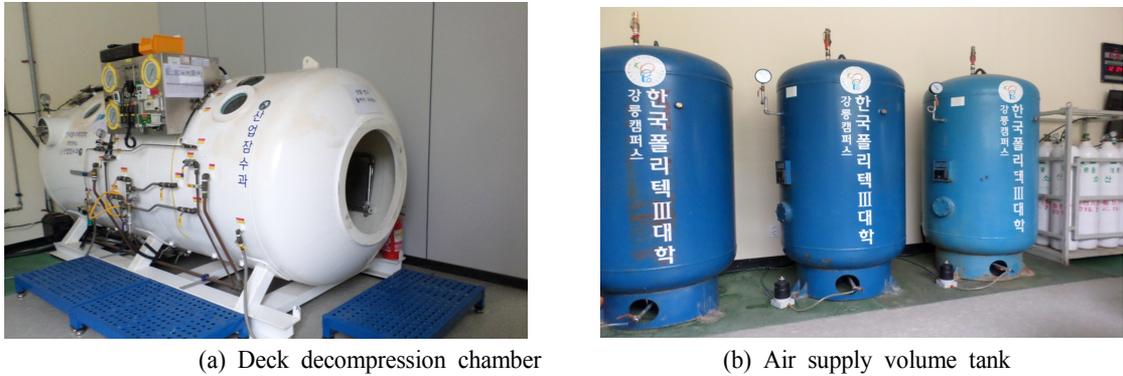
1. 실험 장소 및 장비

본 실험은 한국폴리텍대학교 강릉 캠퍼스 산업잠수와 소재의 교육 수조에서 수행하였다. 수조의 크기는 가로 5 m, 세로 5 m, 깊이 10 m 로 잠수사들의 입/출수를 위한 사다리가 설치되어 있으며 천장에 설치된 안전하중 2ton의 호이스트를 이용하여 다이빙 케이지(Diving cage)를 사용할 수 있다.

실험을 위해 [Fig. 3]과 같이 엄빌리컬(Umbilical)



[Fig. 3] Surface supplied diving systems.



[Fig. 4] Deck decompression chamber & air supply volume tank.

을 통해 공기공급과 잠수사와의 통신이 가능한 표면공급식 잠수장비와 Superlite 17과 Superlite 27 잠수헬멧에 수중 CCTV 카메라를 부착하여 사용하였다.

2. 감압용 챔버

[Fig. 4]의 표면감압용 챔버는 한국폴리텍 대학교 강릉 캠퍼스 산업잠수과 소재의 교육용 챔버를 활용하였다. 본 챔버는 실제 산업잠수 현장에서 표준으로 사용하는 이중격실(Double lock) 챔버로 메디칼 락(Medical lock)이 구비돼 있으며 최대 145 psi 까지 가압할 수 있다. 챔버 외경은 60 inch 이며 내부용적은 6.33 m³ 로 최대 6명까

지 수용할 수 있다.

3. 표면감압 조건

가. 감압표

본 연구가 수행된 수심 10 m(33 ft)의 수조에서 실제로 무감압 한계시간을 초과하려면 240분 이상을 수중에서 머물러야 하기 때문에 본 연구에서는 10 m 수조를 20 m 수조로 가정하여 실험을 수행하였다. 미해군의 공기감압표(Air decompression table)에서 설명하듯이 수심 20 m(66 ft)에서 50분을 초과하여 체류하면 잠수사는 수중감압이나 표면감압을 실시해야 한다(US Navy, 2016).

<Table 1> The summary of surface interval procedure for surface decompression

Task section	Summary of tasks
Preparation for ascent	Inform to the diver stop the work and get ready to surface Diver stops bottom work and prepare to come up to the surface
Leaving bottom(40 ft.)	Call for "diver leaving bottom" and SI(Surface Interval) time starts Control the up coming diver's traveling speed by checking watch & gauge
Reached surface(0 ft.)	Call for "diver on the surface" when diver reached surface Clear the diver from the water by diving ladder or diving cage
Diver on deck	Undressing the diving equipments and diving suit Rush to the chamber entrance
Leaving surface(0 ft.)	Put the diver into the chamber and Locking in Call for "Blow down" and time starts when the chamber pressurised Check for the diver's ear equalization during travel to chamber bottom
Reached chamber bottom (50 ft.)	Diver reached chamber bottom and SI(Surface Interval) time stops Put BIBS mask on and begins O2 time Pay attention to the diver and conduct neurological exam if required

따라서 본 연구에서는 잠수사들이 가상 수심 20 m(66 ft)에서 실제 60분에서 80분 사이를 체류한 후 상승하도록 하여 미해군의 공기감압표가 제시하는 챔버에서 산소(O₂)로 15분 또는 30분의 감압을 마치도록 설계하였다.

나. 표면인터벌

표면감압 절차를 정리하면 <Table 1>과 같다

본 실험에서는 미해군 잠수규정의 표면감압 상승속도를 준용하여 수조 바닥 10 m 에서 수면까지 상승하는데 1분이 걸리도록 하였다.

표면감압에서 챔버를 50 ft 까지 가압하는데 걸리는 시간은 약 30초이기 때문에 잠수사가 수면에 도착한 후 헬멧과 잠수복 등 장비를 해제하고 대략 3분 30초 안에 챔버에 입실하면 된다. 그러나 챔버 가압 중에 발생할 수 있는 압력 평형 등의 문제를 고려하여 최소 1분 전에는 챔버에 도착하도록 하였다.

4. 잠수 팀원 및 기록측정

가. 잠수팀원

1개의 잠수 팀원은 IMCA와 ADCI의 잠수인원

규정에 따라 슈퍼바이저 1명, 메인 잠수사 1명, 대기 잠수사 1명, 메인 잠수사 텐더 1명, 대기 잠수사 텐더 1명의 5명과 잠수기록 작성과 감압표 계산을 위한 기록수로 구성하였다. 챔버는 메인 잠수사를 담당하는 텐더(Tender)가 운영하도록 하였다(IMCA, 2014; ADCI, 2016).

본 실험에 참여한 학생들은 산업잠수와 2학년에 재학 중인 20대 초반에서 30대 초반까지의 남학생들로 구성되었다. 학생들은 산업학사과정 4학점에 해당하는 이론과 실습을 마쳐 챔버운영에 대한 사전지식을 가지고 있다. 본 연구는 학생들의 표면감압과 챔버운영능력 향상을 위해 표면감압 시나리오를 설정하여 수행하였다. 슈퍼바이저와 챔버운영을 담당하는 메인 잠수사 텐더는 임무가 중복되지 않도록 1회만 수행하도록 하였다.

나. 기록측정

기록측정구간은 <Table 1>과 같이 상승 준비단계를 거쳐 ①잠수사가 수중 40 ft 를 출발하면 표면인터벌 측정을 시작하여 수면까지 도착하는데 걸리는 시간을 측정하였다. ②잠수사가 수면에 도착한 후 헬멧과 잠수복을 벗고 챔버로 이동하

여 챔버 가압을 시작할 때까지의 시간을 측정하였다. ③마지막으로 챔버를 가압하여 잠수사가 챔버 50 ft 까지 도착하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 육안관측이 불가능한 수중구간은 잠수사의 통신보고와 잠수사 헬멧의 수중 CCTV를 참고하여 시간을 측정하였다. 나머지 수면도착 시간, 챔버 입실과 가압, 챔버 50 ft 도착시간은 모두 육안으로 관측하며 시간을 측정하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 표면인터벌 실험 결과

먼저 표면감압을 위해 수심 40 ft 를 출발한 잠수사가 챔버 50 ft 까지 도착하는데 걸리는 시간을 측정하기 위해 총 8회(#1~#8)의 잠수를 수행하였다. 본 실험은 실제 현장에서의 표면감압 과정과 동일하게 구성하였으며 실험 장면을 [Fig. 5]에 나타내었다. 본 실험에서 얻어진 결과와 평균값을 <Table 2>에 제시하였다.

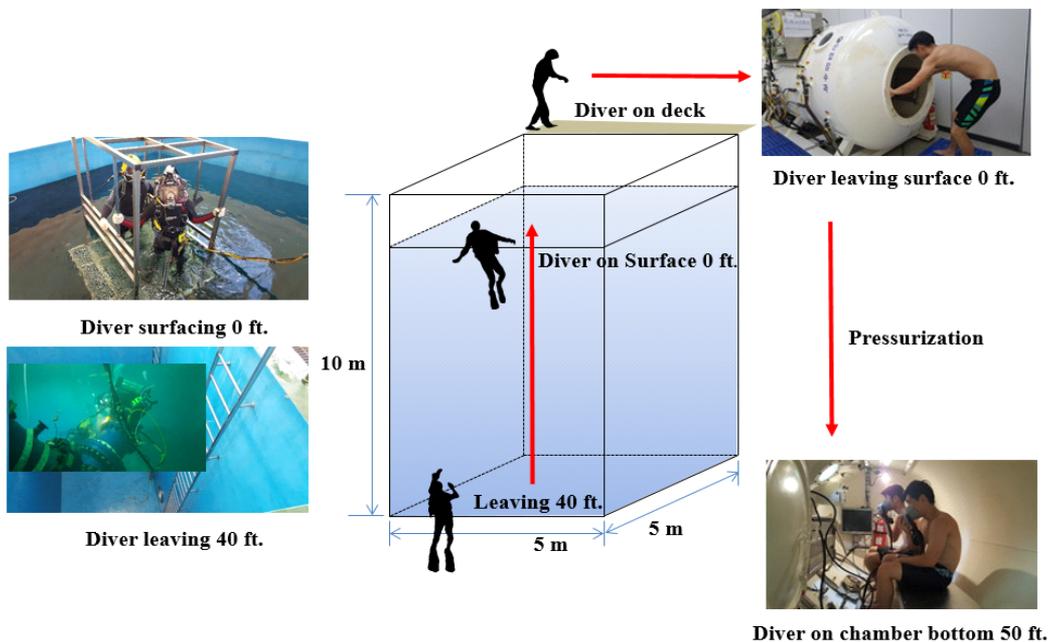
첫째, 잠수사 #1에서 잠수사 #8까지 실제 수심 10 m 를 출발하여 수면에 도착하는데 소요된 시간은 63~88초의 범위(평균 69.25초)를 나타내었다.

둘째, 잠수사 #1에서 잠수사 #8까지 실제 수면에 도착하여 헬멧과 장비를 해제하고 챔버로 이동하여 잠수복을 탈의하고 챔버에 입실하여 가압을 시작할 때까지 소요된 시간은 113~186초의 범위(평균 142.50초)를 나타내었다.

셋째, 잠수사 #1에서 잠수사 #8까지 실제 챔버를 가압하여 챔버 50 ft 에 도착하는데 소요된 시간은 37~80초의 범위(평균 60.50초)를 나타내었다.

넷째, 잠수사 #1에서 잠수사 #8까지 총 8회의 실험 잠수를 수행한 결과 전체 잠수사의 표면인터벌에 소요된 시간은 238~315초의 범위(평균 272.25초)를 나타내었다.

결과적으로, 잠수사 #1에서 잠수사 #8까지 총 8회의 실험 잠수를 수행한 결과 잠수사 #3과 잠수사 #7이 미해군 잠수규정이 제시한 표면인터벌 시간을 15초와 5초 초과하였다.



[Fig. 5] The surface interval procedure flow chart for surface decompression.

<Table 2> The surface interval times for diving 1st~8th of this experimental study

Diving #	Individual split time during task sections(sec)			Surface interval(sec)
	Underwater	Surface	Chamber	
	leaving 40 ft. -> reached surface	Surface undressing phase	leaving surface -> Reached 50 ft.	
# 1	76	128	70	274(4 min 34 sec)
# 2	65	124	49	238(3 min 58 sec)
# 3	63	186*	66	315(5 min 15 sec)
# 4	63	155	63	281(4 min 41 sec)
# 5	63	141	46	250(4 min 10 sec)
# 6	88*	113	37	238(3 min 58 sec)
# 7	60	165	80*	305(5 min 05 sec)
# 8	76	128	73	277(4 min 37 sec)
Average time	69.25	142.50	60.50	272.25(4 min 32 sec)

* Cause of delay: the diver delayed at surfacing and surface undressing phase and equalisation problem during chamber travel

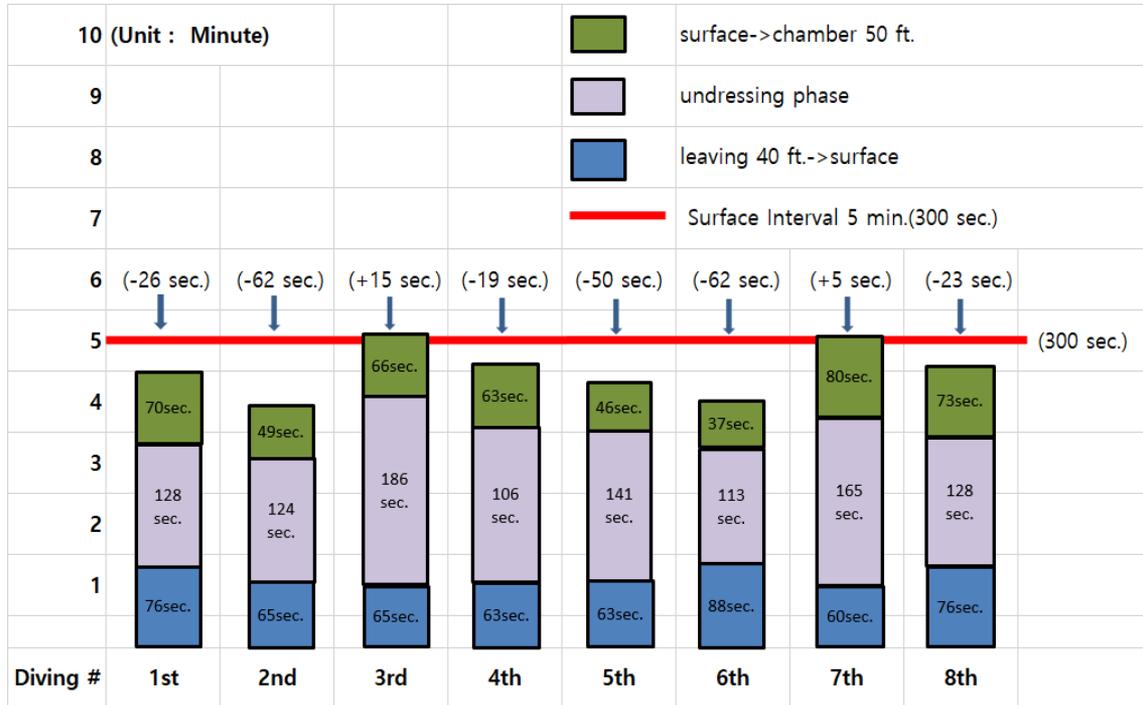
2. 시간 초과 장애요인 분석

본 실험 결과로부터 잠수사들이 표면인터벌 시간을 초과하게 되는 장애요소들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 적절한 상승속도를 유지하기 위해서는 잠수사의 경험과 조정판(Diving control panel) 운영자에 의한 통제가 필요하며, 수면까지 도착하는 과정에서 엄빌리컬의 걸림이나 수면에서 출수하는 과정에서의 추락 등은 전체 표면인터벌 시간에 영향을 미치기 때문에 특별한 주의가 필요하다. 사다리의 높이나 잠수사의 피로 등 출수 조건을 고려하여 잠수사 전용의 LARS(Launch And Recovery System)를 사용하는 것이 안정적인 상승속도를 유지하는데 도움이 될 것이다(Park et al., 2019). 미해군 잠수규정은 일반적인 상승속도 30 ft/min 에서 20 ft/min 과 40 ft/min 사이의 작은 위반은 허용하고 있는데 표면감압에서의 상승속도 40 ft/min 에서도 30 ft/min 과 50 ft/min 사이의 작은 위반이 허용되는 것으로 해석하는 것

이 가능하므로 본 실험에서의 수심 40 ft 를 출발하여 수면에 도착하기까지의 상승속도 범위는 48 초~80초이다. 따라서 본 실험에서의 결과는 #6 잠수사를 제외하면 모두 정상속도의 범위로 상승하였다(<Table 2>, [Fig. 6]). 추가로 미해군 잠수규정은 전체 표면인터벌 시간을 초과하지 않는다면 수면까지 상승과정에서 지연된 시간은 무시하도록 규정하고 있는데 #6 잠수사도 표면인터벌 시간 5분을 초과하지 않았다.

둘째, 챔버를 가압하는데 걸린 시간은 전술한 바와 같이 37초~80초의 범위를 나타내었다. 본 실험에 사용된 챔버를 50 ft 까지 가압하는데 걸리는 시간이 대략 35~40초임을 감안하면 본 실험에서의 평균 60.5초의 가압속도는 잠수사가 하강하는 동안 압력 평형의 문제로 시간이 지체된 것이 주된 원인이었으며 일부는 챔버의 배출 밸브를 개방한 채 가압을 시작하는 등의 챔버 운영의 미숙에 기인 된 원인도 있었다(<Table 2>, [Fig. 6]).



[Fig. 6] The sectionalized individual surface interval time 1st~8th.

셋째, 미해군 잠수규정은 정상적인 출수를 하였다든 가정하에 챔버까지 이동하여 챔버 가압을 시작할 때까지 잠수사가 대기에 노출되는 시간을 최대 3분 30초까지 허용하고 있는데 표면인터벌 중 잠수사가 대기에 노출되는 시간은 잠수복의 종류나 착용하는 장비에도 영향을 받는다. 잠수복 탈의에 웨트슈트(Wet suit)는 대략 20~40초가, 드라이슈트(Dry suit)는 40초에서 1분 정도가 걸린다. 비상 기체인 베일아웃(Bailout)을 착용한 경우라면 베일아웃을 벗는데 걸리는 시간을 고려해야 하며 경우에 따라서 잠수사의 위생을 위한 추가 시간이 필요할 수도 있다.

마지막으로, 본 실험에 사용된 챔버는 교육시설로 지어진 건물 1층에 부속된 것으로 실험에 사용된 2층 수조실 입구에서 1층 챔버실 입구까지의 거리가 약 35미터로 성인의 빠른 걸음으로 이동하였을 때 약 15초가 걸렸다. 따라서 실제 현장에서의 감압 챔버는 본 실험과는 다르게 잠

수사의 출수 장소에서 가장 가까운 곳에 위치하게 될 것이므로 본 실험보다는 양호한 결과를 얻었을 것이 분명하다.

V. 결론 및 제언

이에 본 연구에서는 표면공급식 헬멧잠수사가 수심 40 ft 를 출발하여 대기 노출 과정을 거쳐 챔버 50 ft 까지 도착하는데 걸리는 시간을 실험으로 측정하였다.

본 연구의 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같이 제시할 수 있다.

첫째, 수중 40 ft 를 출발한 잠수사가 수면에 도착하는데 걸린 시간은 미해군 잠수규정이 추천하는 1분을 약간 상회하는 수치다.

둘째, 수면에 도착한 잠수사가 챔버로 이동하는 과정에서 대기에 노출된 시간은 미해군 잠수규정이 추천하는 3분 30초를 충족하였다.

셋째, 챔버를 50 ft 까지 가압하는데는 미해군 잠수규정이 추천하는 30초를 모두 초과하였다.

이상의 결과를 종합해 보면 본 연구에서의 실험잠수의 결과는 일부 잠수사가 미해군 잠수규정이 정한 표면인터벌 시간 5분을 초과하였다.

표면인터벌 시간 5분을 초과하게 된 주요 원인으로 ① 출수 장소에서 챔버까지의 거리 때문에 이동하는데 시간이 걸린 것과 ② 배출 밸브를 개방한 상태로 챔버를 가압하는 등의 조작 실수와 ③ 하강 도중 압력 평형 문제를 해결하는데 시간이 지체된 것을 들 수 있다.

따라서 표면인터벌 시간 5분을 지키기 위해서 ① 챔버까지의 이동거리를 최소화할 것과 ② 챔버와 친숙해질 수 있도록 좀 더 충분한 시간 할애와 ③ 압력 평형의 문제와 챔버 가압에 걸리는 시간을 고려하여 챔버 가압시간을 미해군 잠수규정 상의 30초가 아닌 적어도 1분 이상을 할애할 것을 권장한다.

따라서 출수에서부터 챔버 입실까지의 시간을 3분 30초보다 짧은 3분을 적용하여 최소 1분 전까지는 챔버 입실을 완료하는 것이 표면인터벌 시간을 지키는데 좀 더 유리할 것이다.

본 연구 결과는 향후 표면감압 중 잠수사가 대기에 노출되는 시간을 최소화하여 감압병의 위험에 노출되는 것을 예방하기 위한 개선된 잠수 절차와 방법 개발에 기초자료가 될 수 있을 것으로 판단한다.

한편, 본 연구가 챔버운영 경험이 부족한 학생들을 대상으로 실시 한 점을 고려하였을 때 현장 경험이 반영된다면 본 연구에서보다 더 우수한 결과를 얻을 것으로 판단한다.

References

Abu-Nab AK, Mohammadein SA(2019). The Concentration Distribution Surrounds the Growing of Gas Bubbles in the Bio Tissues of Divers, *Math. Inf. Sci. Lett.* 7(1), 1~9.

<http://dx.doi.org/10.18576/amisl/070101>
 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
 ANSI/ACDE(2015). *American National Standard for Divers Commercial Diver Training Minimum Standards*, American National Standards Institute, Inc, New York. <https://www.acde.us/ansistd.pdf>
 Chae JI, Jeong HW and Kang SH(2018). Development of an automated system for hyperbaric chambers, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 42(4), 318~324.
<https://doi.org/10.5916/jkosme.2018.42.4.318>
 E Gempp, P Louge, T Lafolie, S Demaistre, M Hugon and JE Blatteau(2014). Relation between cervical and thoracic spinal canal stenosis and the development of spinal cord decompression sickness in recreational scuba divers, *Spinal Cord* 52, 236~240. <https://doi.org/10.1038/sc.2013.121>
 HRDSK(2018). *Examination standard for master craftsman diver*, HRDSK. <http://www.q-net.or.kr>
 IMCA(2014). *Guidance for Diving Supervisors*, London, The International Marine Contractors Association, D 022 Rev. 1.
<https://www.imca-int.com/>
 IMCA(2014). *Design for Surface Oriented (Air) Diving Systems*, London, The International Marine Contractors Association, D 023 Rev. 1.
<https://www.imca-int.com/>
 J Kamtchum Tatuene, R Pignel, P Pollak, KO Lovblad, A Kleinschmidt, and MI Vargas(2014). Neuroimaging of Diving-Related Decompression Illness: Current Knowledge and Perspectives, *American Journal of Neuroradiology*, 35(11), 2039~2044.
<http://dx.doi.org/10.3174/ajnr.A4005>
 Kang HD, Oh SH and Jung SK(2017). 3.0 T MRI Findings in Cerebral Decompression Sickness: A Case Report, *Journal of The Korean Society of Emergency Medicine*, 28(4), 387~390.
<http://www.jksem.org/upload/pdf/jksem-28-4-387.pdf>
 Kim MH, Kang SH 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.
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2017.29.4.1063>
- 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>
- OSHRI research report(2015). A study on the research on the actual condition and cost-benefit analysis for commercial diving work, KOSHA.
<http://oshri.kosha.or.kr>
- Park SK and Oh JW(2012), An introduction to diving medicine and decompression sickness, *Jour. Korean Med Assoc.*, 55(7), 659~665.
<http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2012.55.7.659>
- 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. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.
- You YH, KIM HD, Kim H, Choi SC and Kim KW(2014). Clinical applications and contemporary trends of hyperbaric oxygen therapy in Korea, *J Korean Med Assoc.*, 57(7), 601~606.
<http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2014.57.7.601>
-
- Received : 08 November, 2019
 - Revised : 26 December, 2019
 - Accepted : 08 January, 2020