

# 테크니컬 잠수기술을 이용한 해군 해난구조 활동 효율성 향상방안

김태현<sup>1</sup> · 박정식<sup>2</sup> · 유호휘<sup>3</sup> · 강신영<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2013년 9월 9일, 원고수정일 : 2013년 10월 28일, 심사완료일 : 2013년 11월 11일)

## A study on the improvement of ROK navy salvage and rescue activity using technical diving technique

Tae-Hyun Kim<sup>1</sup> · Jung-Sik Park<sup>2</sup> · Ho-Hwi Yu<sup>3</sup> · Sin-Young Kang<sup>†</sup>

**요약:** 본 연구의 목적은 개방회로 공기스쿠버와 표면공급 잠수체계의 제한사항을 개선하기 위해 테크니컬 잠수기술을 적용하는 방안을 제시하여 한국 해군의 해난구조 활동 효율성 향상에 도움이 되는 기초 자료를 제공하기 위함이다. 연구방법으로는 기존의 개방회로 공기 스쿠버의 제한사항을 개선하기 위하여 테크니컬 잠수기술을 이론적으로 고찰하고 개방회로 공기 잠수와 나이트록스(Nitrox) 잠수, 재호흡기(Rebreather) 간 가용심도, 무감압 한계시간, 수중 체류 가능시간, 감압의 효율성 등을 미 해군 등 공신력 있는 기관의 기준에 따라 비교·분석하였다. 그 결과 보다 적합한 테크니컬 잠수기술의 도입 방안이 도출되었다. 본 연구의 결과는 일련의 제한사항이 다르나 장비도입 및 교육 등 그 적용에 따라 감압절차 및 해난구조 활동의 효율성 향상에 기여할 할 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어:** 해난구조, 해군, 테크니컬 다이빙, 나이트록스 잠수, 재호흡기

**Abstract:** This study suggests the improvement of ROK Navy salvage and rescue diving system. ROK Navy system experiences characteristic restrictions for the environmental loading. These restrictions are known to deteriorate the efficiency of Navy salvage and rescue diving activity. In this study, the measurements were suggested to improve the efficiency. To achieve the goal, a comprehensive analysis is conducted using the published data including those of USN, NOAA and IANTD. Based on the analysis, suggestions were made. The technical diving techniques may be introduced to improve current ROK Navy diving system in limited areas. By adopting that technique, decompression procedures and underwater operation can be improved.

**Keywords:** Salvage and Rescue, Navy, Technical diving, Nitrox diving, Rebreather

## 1. 서론

대한민국 해군은 해난구조 활동을 수행하기 위한 잠수체계로서 개방회로 공기 스쿠버와 표면공급 잠수를 운용하고 있다[1]. 개방회로 공기 스쿠버는 기동성과 간편성으로 인해 주로 천해 수중탐

사와 경작업 용도로 사용되며 130 ft(약 40 m) 이상 심해에서의 중작업이 필요한 경우 모함으로부터의 지속적인 호흡기체 공급과 철저한 안전관리가 가능한 표면공급 잠수를 실시하고 있다.

이 중 개방회로 공기 스쿠버는 기동성과 간편성

<sup>†</sup> Corresponding Author: Sin-Young Kang, Department of Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Dongsam-dong, Yeongdo-gu, Busan, Korea, 606-791, E-mail: sykang@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4323

1 ROK Navy, E-mail: mature1x@naver.com, Tel: 055-747-4634

2 ROK Navy, E-mail: jspark@gmail.com, Tel: 055-747-4634

3 ROK Navy, E-mail: hwigun82@gmail.com, Tel: 051-410-4855

이라는 장점 이면에 개방회로와 공기를 호흡기체로 사용함에 따른 단점을 가지는데, 대표적으로는 잠수 가능심도와 감압의 부담, 해체체류시간의 제약이 있다.

본 논문에서 논의한 테크니컬 잠수의 경우 해군에서도 개방회로 공기 스쿠버에 비해 수심과 잠수시간 증가에 대한 장점은 인지하고 있으나, 장비가 복잡하고 운용이 어려우며, 안전성에 대한 검증이 되지 않았다는 이유로 악조건 하 중작업이 예상되는 해난구조 현장에의 도입을 꺼려 왔다.

그러나 2010년 천안함 구조작전 시 개방회로 공기 스쿠버의 제한사항이 또다시 부각되었다. 당시 천안함 함미 선체가 위치하던 수심은 개방회로 공기 스쿠버의 잠수 한계수심인 130 ft를 초과하였다. 이러한 경우 잠수모함의 역할을 수행하는 구조함이 다점 묘박을 한 상태로 표면공급 잠수를 실시하는 것이 안전한 방법이나, 그 준비에 많은 시간이 필요하였으며 당 해역(서해 백령도 근해)의 강한 조류로 인해 구조함의 함위 유지가 불가능하였다. 따라서 제한된 시간만 잠수가 가능한 개방회로 공기 스쿠버 잠수체계를 사용할 수 밖에 없었는데, 잠수병의 위험과 호흡기체 저장용량의 제한으로 수중 체류시간이 약 10분에 불과하여 수중 작업에 많은 제약이 발생하였다[2].

본 연구에서는 이러한 제한사항을 극복하기 위한 방안으로 기존의 해군 잠수체계에 테크니컬 잠수기술을 도입할 것을 제안하였다. 제안의 타당성을 제시하기 위해 개방회로 공기 잠수와 나이트록스 잠수, 재호흡기 간 가용 잠수심도, 무감압 한계시간, 수중 체류 가능시간, 감압의 효율성을 비교, 분석하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 개방회로 공기 스쿠버의 제한사항

공기는 약 79%의 질소와 21%의 산소로 구성되어 있어 고압 하 질소 마취, 산소 독성 및 감압과 관련된 제한사항이 발생한다.

#### 2.1.1 질소 마취

질소 마취(Nitrogen narcosis)는 통상 4 ata 이상의

고압 하에서 불활성 기체인 질소를 호흡하여 야기되는 지각 마비와 무의식 상태를 의미한다. 이는 통상 130 ft 수심에서부터 발현되기 시작되며 200 ft에서는 현저히 나타난다. 주요 증상은 중독, 정신 작용 지체, 수(手)작업 능력 감소 등이다. 질소 마취는 술에 취한 듯한 효과를 나타내어 수중에서 잠수사 자신의 안전을 저해하는 행위를 초래할 수 있다[3].

#### 2.1.2 산소 독성

산소 독성(Oxygen toxicity)은 높은 분압의 산소를 오래 호흡하면 발생하는 대표적인 고압 하 부정적인 생리현상이다. 신체에 들어온 산소는 일부가 화학반응을 통해 활성산소로 변하여 세포 내 여러 물질과 쉽게 반응하여 그것을 변형시킨다. 우리 신체에는 활성산소를 제거하는 효소들로 인해 대기압 하에서는 문제가 없으나 산소분압이 높아져 활성산소 생성량이 너무 많아지면 미처 처리되지 못한 활성산소들이 세포 손상을 일으켜 산소독성을 유발한다. 산소독성의 주요 증상은 발작, 시야 협착, 귀울림 현상, 구역질, 근육 격통, 과민반응, 현기증 등이다[4].

#### 2.1.3 감압과 관련된 제한사항

질소는 산소와 달리 신체 내에서 신진대사 작용을 하지 않는 불활성 기체로서 압력의 증감에 따라 신체 내에 축적 및 배출된다. 잠수 중 신체에 축적된 불활성 기체가 적절하게 배출되기 위해서는 조직구획의 총 기체 장력이 과포화 임계값보다 낮아질 때까지 일정 수심에서 체류하여야 하는데[5], 이를 잠수에서의 감압 행위라고 한다. 호흡기체의 성분 중 불활성 기체의 양이 많을수록 조직 구획의 총 기체 장력 역시 높아지므로 더 긴 시간의 감압이 요구된다. 따라서 79%의 질소로 구성되어 있는 공기는 감압의 부담이 매우 높은 편이라 할 수 있다. 감압이 제대로 수행되지 않고 수면으로 상승할 경우 체내 지방과 관절 부위를 중심으로 기포가 발생하여 심한 관절통증과 피부 증상 등의 부작용을 초래할 뿐만 아니라 기포가 혈관 내에서 발생하게 되면 뇌, 척수 부위의 혈액공급을 차단하여 저림,

근력 약화, 마비 등의 증상을 유발한다.

## 2.2 테크니컬 잠수기술의 이론적 고찰

테크니컬 잠수의 개념적 정의는 “공기가 아닌 특수한 혼합기체의 호흡과 수중 기술을 통해 활동 수심과 체류시간을 증대시키는 스쿠버 형태의 잠수”인데[6], 본 연구에서는 주로 개방회로 나이트록스 잠수 및 재호흡기 잠수기술 적용을 중심으로 고려하였다.

### 2.2.1 나이트록스 잠수

나이트록스(Nitrox)는 Nitrogen과 Oxygen의 합성 어로서 일반 공기의 구성 비율을 조절하여 사용하는 호흡기체를 총칭하며, 일반 공기에 비해 산소 비율이 풍부한 혼합기체이다[7]. 일반 공기는 즉시 준비 가능하고 경제적으로 저렴하지만 일정 수심 하에서의 질소 마취와 불활성 기체인 질소로 인한 감압의 부담 등으로 인해 잠수에 있어 이상적인 호흡기체가 아니다. 일반 공기 호흡의 부정적인 영향을 극복하기 위한 가장 기본적이고 최선의 방법은 질소의 비율을 줄이고 산소의 비율을 증가시키는 것이다. 이러한 이론적 배경을 토대로 고안된 잠수가 바로 나이트록스 잠수이다.

### 2.2.2 재호흡기 잠수

재호흡기(Rebreather)는 잠수사가 호흡한 기체를 폐쇄 또는 반폐쇄 회로 내에서 순환시켜 다시 호흡할 수 있도록 고안된 잠수장비들을 통칭한다[8]. 호흡을 통해 발생한 이산화탄소를 여과시켜 잠수사가 다시 호흡함에 따라 기체는 외부로 배출되지 않게 되어, 호흡기체의 효율성이 극대화된다. 또한, 호흡하는 산소와 희석기체(diluent gas)의 비율 조절을 통해 잠수 수심에 관계없이 일정한 산소 분압을 유지하여 불활성 기체의 신체 축적을 최소화한다. 재호흡기는 일정량의 산소를 호흡하고 그에 따라 발생하는 이산화탄소를 제거하여 다시 호흡하는 매커니즘을 전제로 고안된 장비이다.

## 3. 테크니컬 잠수와 개방회로 공기 스쿠버 간 비교·분석

개방회로 공기 스쿠버에 대한 테크니컬 잠수의 효율성을 판단하기 위해 본 연구에서는 개방회로 공기 스쿠버와 테크니컬 잠수 간 가용 잠수심도, 무감압 한계시간, 수중 체류 가능시간, 감압의 효율성에 대해 기존의 연구자료를 정리하여 비교, 분석하는 방법을 통해 알아보았다.

### 3.1 가용 잠수심도

가용 잠수심도는 운용 체계에 따라 산소 독성과 불활성 기체 마취현상을 방지하기 위해 설정한 특정 수심이며, 고정된 값이 아니다. 즉, 잠수를 수행하는 조직, 단계별로 가용 잠수심도를 규정화하여 사용하고 있으며, 이를 초과하는 수심에서의 잠수는 예외 노출(Exceptional exposure)로 간주한다. 따라서 가용 잠수심도를 고정된 불변의 법칙으로 적용할 수는 없다. 하지만 분석을 위해 고정된 기준치가 있어야 하므로 잠수를 수행하는 공신력 있는 조직의 한계수심 규정을 조사하였다. 대상 조직은 미 해군 [9]과 미 해양대기청(NOAA) [7] 및 테크니컬 잠수 교육단체인 IANTD (International Association of Nitrox and Technical Divers) [10]의 3개이다.

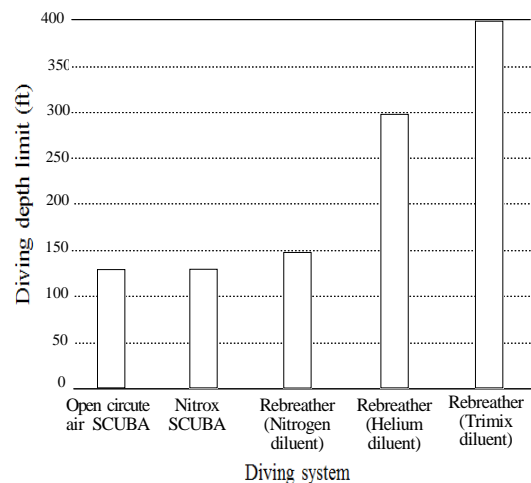


Figure 1: Comparison of diving depth limit for various diving system

Figure 1은 잠수한계수심 규정에 따라 각 잠수체계별 가용 잠수심도를 비교한 결과이다. 개방회로

공기 스쿠버와 나이트록스는 130 ft, 질소 희석 재호흡기는 150 ft, 헬륨 희석 재호흡기는 300 ft, 트라이믹스 희석 재호흡기는 400 ft로 파악되었다.

### 3.2 무감압 한계시간

무감압 한계시간은 각 잠수체계별로 100-200 ft 까지의 수심에 대해 10 ft 단위로 비교하였다. 비교 시 사용한 감압 테이블은 해군에서 준용하고 있는 미 해군 감압 테이블(Rev. 6)[9]을 적용하였다.

나이트록스 잠수는 각 수심별로 허용 산소분압 1.6 ata를 초과하지 않는 최대 산소비율을 선택, 해당 수심에 대한 등가 공기 수심(EAD, Equivalent Air Depth)을 산출하여 미 해군 테이블에서의 무감압 한계시간을 산출하였다. 재호흡기는 희석기체로 질소를 사용하는 경우와 헬륨을 사용하는 경우로 구분하였다. 또한 헬륨을 희석기체로 사용하는 경우에는 고정 산소분압을 0.75와 1.3 ata로 다시 분류하였다. Figure 2는 잠수수심별 각 잠수체계의 무감압 하 최대 체류 가능시간을 그래프로 나타낸 것이다.

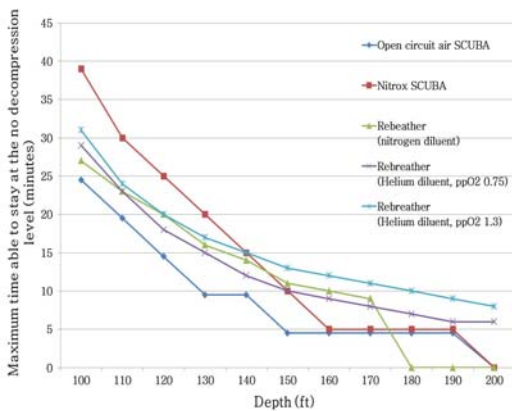


Figure 2: No decompression limit for various diving system

나이트록스 잠수는 개방회로 공기 스쿠버에 비해 수심 150 ft까지 무감압 하 최대 체류 가능시간이 더 길다. 재호흡기의 경우, 질소 희석 재호흡기는 170 ft까지, 헬륨 희석 재호흡기는 개방회로 공기 잠수에 비해 200 ft까지 감압을 하지 않고 더 오

랫동안 수중에 체류할 수 있다. 150 ft에서는 나이트록스 잠수에 비해 재호흡기 잠수의 무감압 허용 한계시간이 더 길다. 이는 나이트록스 잠수가 한계 수심인 130 ft 보다 깊은 수심에서 효율성이 없다는 것을 반증하는 것이기도 하다. 즉 130 ft 이상의 수심에서는 일반 공기에 비해 기체의 비율 변화로 인한 이득이 거의 없다는 것이다.

나이트록스와 재호흡기 잠수가 모두 일반 공기에 비해 무감압 하 최대 체류 가능시간은 더 길지만, 100 ft에서의 나이트록스 잠수를 제외하고는 모두 10분 이내의 증가율을 나타내는 등 개방회로 공기 잠수에 비해 유의한 차이를 나타내지는 않았다.

### 3.3 수중 체류 가능시간

수중 체류 가능시간은 일반적으로 잠수사가 보유한 일정한 호흡기체의 양으로 해당 수심에서 얼마나 오래 호흡할 수 있는가를 측정하여 판단할 수 있다. 물론, 수온과 외력 등의 요소로 인해 수중 체류 가능시간은 상황에 따라 유동적일 수 있으나, 변경되지 않는 고정적인 수치를 산출하기 위해서는 잠수 장비의 능력만을 고려할 수밖에 없다.

휴대하고 있는 호흡기체로 수중에서 체류 가능한 시간을 측정하기 위해서는 육상에서 개인별로 호흡률을 측정 후, 압력이 증가하는 해당 심도에서 미리 측정된 호흡률을 기준으로 기체 운용 효율을 판단해야 하나 개인별 호흡률이 상이하야 신체 활동량에 따른 분당 호흡률인 RMV(Respiratory Minute Volume)와 신진대사에 필요한 산소 소모량을 적용하여 계산하였다. RMV는 크게 휴식, 경작업, 보통의 작업, 중작업, 아주 힘든 중작업 등 5가지 기준으로 분류되고 인체의 신진대사에 필요한 분당 산소 소모량과 비례한다[9]. 본 연구에서는 미 해군 연구결과를 근거로 1 kts의 속도로 수영할 때 요구되는 분당 호흡률(1.5 ACFM)과 산소 소모량(0.052 SCFM)을 적용하여 미 해군 해상체계사령부(NAVSEA) 군사표준(MIL-STD) steel 72형 실린더를 사용할 시 수중 체류 가능시간을 수식에 따라 계산하였다.

재호흡기와 같은 폐쇄회로 잠수체계의 호흡기체 사용 지속시간은 개방회로 잠수체계와 달리 해당

수심(압력)의 영향을 받지 않으므로 인체 신진대사에 필요한 산소 소모량과 수온차에 따른 압력 변화의 영향을 고려하여야 한다. 수온의 연직분포는 계절에 따라 다양하게 변화하므로 고정된 값은 아니지만, 비교의 유의성을 향상시키기 위해 수심별 수온변화가 상대적으로 큰 동해의 8월 기준 수온 연직분포를 적용하였다[11].

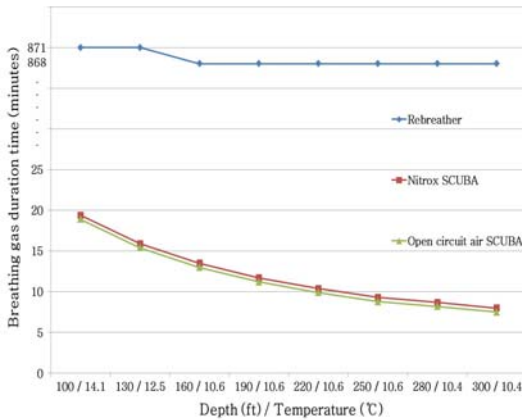


Figure 3: Breathing gas duration time of various diving system by the depth & temperature

Figure 3은 수심과 수온에 따른 각 잠수체계별 호흡기체 지속시간(분)을 산출, 비교한 그래프이다. 여기서 알 수 있듯이, 개방회로와 폐쇄회로 잠수체계에 있어 동일한 체적의 호흡기체를 사용할 경우 호흡기체 사용 지속시간은 수심에 따라 약 46에서 115배까지 차이가 난다. 같은 잠수체계 사용 시에도 호흡기체 사용 지속시간은 수심에 따라 많이 차이를 보인다. 개방회로 잠수의 경우 100 ft와 300 ft에서는 호흡기체 사용 지속시간이 최대 2.52배까지 차이가 나지만, 재호흡기는 약 1.003배 정도로 거의 차이가 나지 않는다. 즉, 재호흡기는 잠수 수심의 증대에 따른 압력 상승에 관계없이 호흡기체 운용의 높은 효율성 유치가 가능하다는 것을 의미한다.

그러나 재호흡기의 정확한 수중 체류 가능시간을 분석하기 위해서는 호흡기체 사용 지속시간 외에도 이산화탄소 여과제 성능 지속시간을 고려하여야 한다. 소다라인(sodalime)을 비롯한 이산화탄

소 여과제는 일정시간 이후에 화학적 여과 능력의 한계에 도달하여 반응속도가 느려진다. 이 시점을 Break-through point라고 하며, 이는 온도에 따라 그 도달시간이 달라진다[10]. 즉, 이산화탄소 여과제의 성능 지속시간은 수온에 따라 달라진다. 이는 여과제의 근본적인 화학반응 속도가 온도에 따라 달라지기 때문인데, 온도가 올라가면 이산화탄소를 탄산칼슘과 물로 변환시키는 화학반응 속도가 상승하므로 여과제가 더욱 활발하게 반응하기 때문에 수온이 높은 곳에서는 여과장치의 성능이 높아지기 때문이다.

### 3.4 감압의 효율성

감압의 효율성은 각 잠수체계가 동일한 수심과 해저체류시간에 노출되었을 시 감압시간에 관한 기존 연구 자료를 비교, 분석함으로써 평가하였다. 이를 위해 수심을 100 ft에서 190 ft까지 10 ft 단위로 구분하고, 해당 수심에서의 해저 체류시간은 20분에서 50분까지 10분 단위로 구분하였다.

감압 테이블은 미 해군 잠수 매뉴얼을 적용하였으며, 나이트록스 잠수는 등가 공기 수심 계산을 통해 해당되는 수심의 공기 감압 테이블을 적용하였다. 재호흡기 잠수는 질소와 헬륨을 희석기체로 각각 사용하는 고정 산소분압 0.75, 1.3 ata에 해당하는 미 해군 폐쇄회로 잠수 감압 테이블을 적용하였다[12].

Figure 4, 5, 6은 각 잠수체계의 수심별 감압시간

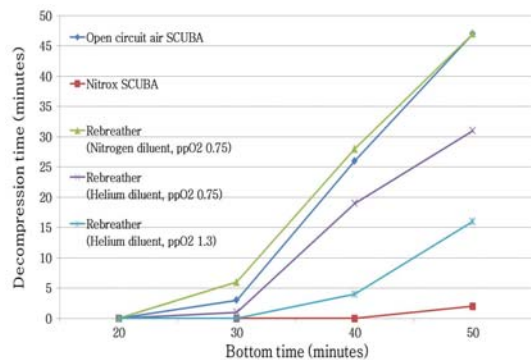


Figure 4: Decompression time of various diving system(depth 100 ft)

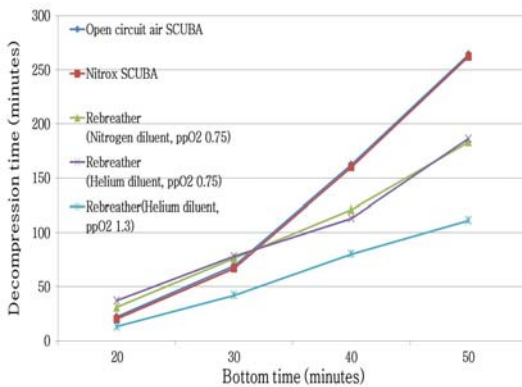


Figure 5: Decompression time of various diving system(depth 160 ft)

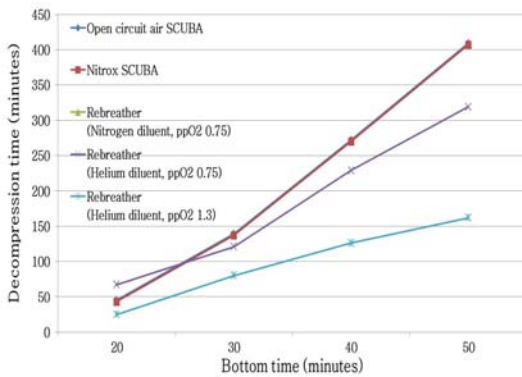


Figure 6: Decompression time of various diving system(depth 190 ft)

을 그래프로 나타낸 것으로 분석 결과 특히 유의한 차이를 보인 수심인 100 ft, 160 ft, 190 ft 수심에서의 감압시간 그래프이다.

감압 효율성을 분석한 결과, 140 ft 이내 수심에서 나이트록스 잠수는 개방회로 공기 스쿠버에 비해 대단히 우수한 감압 효율성을 나타내었다. 특히, 나이트록스 잠수로 100 ft에서 50분 해저 체류 시 감압시간이 2분인 것에 비해 개방회로 공기 스쿠버의 감압시간은 47분이 소요된다. 이는 100 ft에서 개방회로 공기 스쿠버가 아닌 나이트록스 잠수를 할 경우 해저에서 45분간의 해저 체류를 보장 받을 수 있다는 의미이기도 하다.

140 ft 이내에서 나이트록스 잠수는 개방회로 공기 스쿠버에 비해 평균적으로 약 6.3배의 감압 효

율을 보였다. 그러나 150 ft 이상의 수심에서는 유의한 차이를 보이지 않으며 160 ft 이상에서는 개방회로 공기 스쿠버와 동일한 감압시간이 요구되었다.

재호흡기는 고정 산소분압을 유지하므로 개방회로 공기 잠수와 감압 효율성 차이가 크게 나타났다. 희석기체에 관계없이 고정 산소분압 0.75 ata를 유지하는 재호흡기는 30분 이내의 해저체류 시 개방회로 공기 스쿠버에 비해 더 긴 감압이 요구되었으며, 30분 이상의 해저체류 시에도 개방회로 공기 스쿠버에 비해 유의한 차이를 보이지는 않았다. 즉, 고정 산소분압 0.75 ata는 개방회로 공기 스쿠버의 수심별 산소분압보다 낮은 경우가 많아 그만큼 불활성 기체의 신체 축적이 많아지므로 감압 효율성 측면에서는 장점을 가지지 못한다.

하지만 고정 산소분압 1.3 ata를 유지하는 재호흡기는 개방회로 공기 스쿠버에 비해 유의한 차이를 보였다. 나이트록스 잠수에 비해서는 감압 효율이 낮으나 개방회로 공기 스쿠버에 비해서는 평균적으로 약 2.16배가 높았다.

고정 산소분압 1.3 ata를 유지하는 재호흡기가 수치적으로는 나이트록스 잠수에 비해 감압 효율이 낮으나 수심과 해저 체류시간이 증가할수록 개방회로인 나이트록스 잠수의 호흡기체 소모율은 높아져서, 오히려 재호흡기의 상대적 효율은 향상되므로 150 ft 이상의 수심에서는 감압 측면에서 대단히 우수한 체계라 할 수 있다.

#### 4. 해난구조 활동 효율성 향상 방안

앞 장에서 개방회로 공기 스쿠버와 테크니컬 잠수 간 가용 잠수심도, 무감압 한계시간, 수중 체류 가능시간, 감압의 효율성을 비교, 분석하였다. 이들을 종합하여 볼 때 테크니컬 잠수기술 적용을 통해 해난구조 활동 효율성을 극대화하기 위해서는 각 체계별 장점과 단점을 분석하여 수심별로 구분 운용할 필요가 있다.

##### 4.1 나이트록스 잠수의 도입

먼저, 130 ft(약 40 m) 이내 수심에서는 나이트록스 잠수를 우선적으로 적용, 운용해야 한다. 전술

한 분석 결과와 같이 나이트록스 잠수는 130 ft 이내의 수심에서 개방회로 공기 스쿠버에 비해 무감압 하 수중 체류 가능시간이 극대화되고, 장시간 수중 체류 시 감압시간의 극적인 감소가 가능하다. 그것은 개방회로 공기 잠수에 비해 나이트록스의 높은 산소 비율은 적절한 기준 내에서 불활성 기체의 체내 흡수를 최소화 할 수 있기 때문이다. 그러나 최소화 된 불활성 기체 흡수율만큼 고산소로 인한 위험성은 높아지므로 산소분압이 1.6 ata를 초과하지 않도록 130 ft 이내의 수심에서만 적용해야 한다.

개방회로 공기 스쿠버와 나이트록스 잠수는 산소의 함량만 상이할 뿐, 실제로는 동일한 개방회로이며 호흡기체의 지속시간도 동일하다. 그러나 130 ft 이내의 수심에서 개방회로 공기 스쿠버에 비해 감압에 대한 이점을 가지므로 해군이 130 ft 이내의 수심에서 공기 스쿠버가 아닌 나이트록스 잠수로 대체 운용한다면 해난구조작전의 효율성이 크게 향상될 것이다.

또한, 나이트록스 기체는 부분압 혼합 방식을 이용하여 순수 산소를 보유하고 있는 욕상이나 함정(선박)에서 간단하게 제작 가능하다. 해군은 욕상과 구조함에 순수 산소를 보유하고 있으며, 산소의 분압 측정을 위한 산소분압 측정기 역시 보유하고 있다. 따라서 별도의 장비 신규 도입 없이도 나이트록스 잠수의 운용이 가능하다.

#### 4.2 재호흡기 잠수체계 도입

재호흡기의 경우, 고정 산소분압 1.3 ata의 헬륨 희석 재호흡기 적용이 필요하다. 고정 산소분압 1.3 ata의 헬륨 희석 재호흡기는 일정한 호흡기체의 양으로 수심에 관계없이 장시간 해저 체류가 가능하고 개방회로 공기 스쿠버에 비해 감압 효율이 2.16배 높다. 또한, 깊은 수심에서 불활성 기체 마취의 위험이 없으므로 심해잠수 작전에 적합한 체계이다. 또한, 스쿠버 형식으로 현용 해군의 표면공급 잠수체계와 비교 시 대단히 간편하고 수중 기동성 증대가 가능하다.

하지만 재호흡기를 적용하기 위해서는 중요하게 고려해야 할 요소가 있다. 이는 이산화탄소 검출과

관련된 문제점인데, 인체 생리는 이산화탄소에 매우 취약하지만 그것에 대해 어떤 신뢰할 만한 경고 시스템을 보유하고 있지 않다. 재호흡기 내부에 장착되어 있는 이산화탄소 여과제가 제대로 이산화탄소를 여과할 수 있는지를 확인할 수 있는 시스템이 현재 연구 중이나 아직까지 성공한 결과는 없었다고 보고되고 있다[10]. 따라서 해군 해난구조작전에 재호흡기를 적용할 경우 이산화탄소 누적으로 인한 신체적 부작용을 방지하기 위해 중작업에 사용하지 않고 경작업과 탐색, 최초 심해 대응 등의 용도로 활용해야 할 것이다.

또한, 해난구조작전에 적합한 재호흡기의 형태(shape)에 대한 검토가 필요하다. 이는 호흡낭의 위치 및 견고성과 관련된 것으로서, 민간 잠수계에서는 잠수사가 앞 혹은 뒤로 누운 자세로 유영을 하면서 수중 활동을 수행하므로 호흡낭이 신체를 기준으로 앞, 뒤 어디에 부착되어 있는지의 여부가 호흡저항 판단의 기준이 될 수 있다. 해군의 구조작전은 다수의 경우가 직립 또는 그와 유사한 자세로 임무를 수행하므로 호흡낭의 앞, 뒤 위치는 그렇게 중요하지 않으며 폐와 동일한 높이에 장착이 되어 있을 경우, 호흡저항은 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 다만, 구조작전의 특성상 수중 장애물에 의해 호흡낭이 파손될 우려가 있으므로 단단한 케이스에 덮여져 있는 형태의 재호흡기가 적용되어야 할 것이다.

### 5. 결 언

현재 해군 해난구조 잠수체계는 개방회로 잠수로 일원화되어 있다. 이로 인해 점차 다변화되고 있는 해난현장에서 잠수체계의 선택이 제한된다면 구조 활동의 안전성 및 효율성이 저하될 수 있다.

본 연구에서는 민간 잠수단체에서 시행되고 있는 테크니컬 잠수기술에 대하여 기존의 연구결과를 정리함으로써 해군 구조잠수 관점에서 그 활용 가능성과 장·단점을 분석하였다. 그리고 나이트록스 잠수체계와 재호흡기 잠수체계의 도입 방안을 제시하였다. 향후 잠수수심과 활용용도에 따라 이를 해군 해난구조 활동에 적용한다면 잠수체계 선택의 폭이 확대됨과 동시에 해난구조 활동에서 전반적인

효율성을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

August 12, 2012.

[12] USN, Technical manual no. 01-94, Naval Experimental Diving Unit, USA, 2001.

## 참고문헌

- [1] ROK Navy, Salvage Operation, Navy Headquarters, Korea Armed Forces Printing & Publishing Department, 2010 (in Korean).
- [2] S. Y. Kang, "A study on the diving standards for underwater work in hostile environment", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 5, pp. 735-742, 2010 (in Korean).
- [3] B. Fowler, K. N. Ackles, and G. Portlier, "Effect of inert gas narcosis on behavior", Undersea Biomedical research, vol. 13, pp. 369-402, 1985.
- [4] S. Y. Kang, The Ministry of Education & Human Resources Development, Diving Technology, Daehan Textbook Co., pp. 44-45, 2003 (in Korean).
- [5] B. R. Wienkie, Basic Decompression Theory and Application, Best Publishing Company, USA, 2003.
- [6] T. H. Kim, A Study on the Improvement of ROK Navy Salvage and Rescue Activity Using Technical Diving Technique and a Small Platform, Master thesis, Korea Maritime University, 2012 (in Korean).
- [7] NOAA, NOAA Diving Manual, Best Publishing Company, USA, 2002.
- [8] S. M. Barsky, M. Thurlow, and M. Ward, The Simple Guide to Rebreather Diving, Best Publishing Company, Arizona, 1998.
- [9] USN, US Navy Diving manual, Rev. 6, NAVSEA, Florida, 2008.
- [10] T. Mount, D. Sawatzky, and J. Hess, Tek Closed Circuit Rebreather, International Association of Nitrox & Technical Diving, USA, 2010.
- [11] Korea Hydrographic & Oceanographic Administration, <http://www.khoa.go.kr>, Accessed