

## 수중 작업에 있어서 극한 환경의 잠수 활동 기준 검토 강 신 영†

(원고접수일 : 2010년 4월 27일, 원고수정일 : 2010년 6월 23일, 심사완료일 : 2010년 6월 28일)

### A Study on the Diving Standards for Underwater Work in Hostile Environment

Sin-Young Kang†

**요 약 :** 본 연구는 극한 환경에서의 잠수 기준에 대해 살펴보고, 2010년 3월 백령도 근해에서 발생한 천안함 침몰사고의 실종자 수색 작업에 적용된 우리 해군의 잠수 방식과 사용 장비, 절차 등에 대한 분석을 하였다. 이번 잠수작업은 국제 기준이나 안전을 고려하면 작업을 해서는 안 되는 조건인데도 불구하고 작업이 시행되었으며, 초기 수색 작업에 있어서 임무의 성격, 신속성, 효율성을 고려하고 세부적으로 수심과 잠수 가능시간, 작업의 종류, 환경 조건, 작업 시간을 검토한 결과, 공기를 사용하는 스쿠버 방식이 적절하였다고 분석되었다.

**주제어 :** 수중 작업, 극한 환경, 잠수 기준, 스쿠버 잠수, 표면공급식 잠수

**Abstract:** This paper reviewed the diving standards for underwater work in hostile environment and analyzed applied Navy diving technique, diving equipments and procedure for rescue operation of Navy ship Cheonan's missing crew occurred near Bak Ryung Do in March 2010. The operation was done beyond the international standards and safety practice, and by considering the nature of the mission, urgency and effectiveness as well as the detailed facts such as duration and depth of the dive, type of work to be performed, environmental conditions, time constraints of early rescue operation, it is analyzed that using air scuba diving system was adequate.

**Key words:** Underwater work, Hostile environment, Diving standards, Scuba diving, Surface supplied diving system

## 1. 서 론

2010년 3월 26일 발생한 천안함 침몰사고에는 생존자 구조작업과 선체 인양작업을 위해 많은 해군 및 민간 잠수사들과 잠수 장비가 투입되었다. 이 작업이 진행되는 동안 잠수 작업의 한계(수심 및 작업 시간), 작업 환경에 대한 제약(해상 및 수중 환경 조건), 장비 사용 등에 대한 매스컴의 많은 언급이 있었지만, 일부 부정확한 지식 전달로 인해 갖가지 추측과 많은 사람들의 오해를 불러일으켰다.

본 연구에서는 여러 잠수 방식에 있어서 극한 환

경에서의 잠수 기준에 대해 살펴보고 이번 실종자 수색 작업에 적용된 잠수 방식과 사용 장비, 절차 등에 대한 분석을 통해 고려사항에 대한 평가를 하여 개선책에 대한 논의를 하였다. 본 연구 결과가 향후 이러한 구조 작업에서 최적의 잠수 방법을 결정하는 절차에 도움이 되기를 희망한다.

## 2. 기초 잠수지식

### 2.1 잠수방식의 분류

잠수는 분류할 때 장비를 중심으로 유인 잠수기와 무인 잠수기로 나누고, 다시 사람을 중심으로

† 교신저자(한국해양대학교 해양공학과, E-mail: sykang@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4323)

지식 잠수, 환경압 방식, 대기압 방식으로 나누는 방법이 있다[1]. 산업 잠수사들이 사용하는 헬멧이나 레저 дай버들의 스쿠버 장비는 환경압 방식에 속한다. 또 Bacharach[2]과 같이 지식 잠수, 스쿠버 잠수, 표면공급식 잠수, 잠수중 잠수, 포화 잠수, 대기압 잠수로 분류하기도 한다. 그러나 본 연구에서는 활동 특성에 따라 레저 잠수, 산업 잠수, 군사 잠수로 구분하여 내용을 기술하였다.

스쿠버(SCUBA<sup>1)</sup>)는 '수중에서 호흡할 수 있는 기체를 넣어 가지고 다니는 기구'를 의미한다. 스쿠버 방식은 다시 개방회로, 반폐쇄회로, 폐쇄회로 방식으로 나눌 수 있는데 레저 дай버들이 가장 많이 사용하는 공기통과 호흡기는 개방회로 스쿠버 방식이다. 개방회로는 한 번 호흡한 기체를 수중으로 방출시켜 버리는 방식이며 비교적 장비의 구조가 간단하다. 반면 폐쇄회로와 반폐쇄회로 방식은 수심에 따라 산소의 비율을 조정한 혼합기체를 사용하는데 사용 방법이 까다롭고, 위험 요인이 개방회로에 비해 아주 많다. 이 방식은 호흡으로 생성된 이산화탄소를 흡수제로 걸러 회로 내에서 재순환시키므로 재호흡기라고도 한다.

이와는 달리 산업 잠수에는 표면공급식 장비가 주로 사용된다. 표면공급식 장비는 헬멧 또는 밴드 마스크에 기체를 공급하는 줄(umbilical)을 연결하여 육상에서 잠수조정반을 통해 기체를 공급하는 방식이다. 이 장비는 기체를 무제한으로 공급할 수 있고, 잠수사와 통신장비로 교신을 함으로써 통제가 가능하여 안전 측면에서 볼 때 장점이 많다.

한편 군사 잠수에서는 목적에 따라 은밀한 침투가 목적일 때는 재호흡기를 사용하고, 구난 작업에는 표면공급식을 사용하며, 그 외 일반적인 수색 작업에는 개방 회로 스쿠버 장비를 주로 사용하고 있다.

최근 레저 дай버들을 중심으로 기존에 사용하던 공기통에 혼합기체를 넣어 100 m 이상의 수심에 까지 잠수하는 방식이 시행되고 있다. 이를 테크니컬 잠수(technical diving)라고 하는데 아직은 극한 스포츠(extreme sports)를 즐기는 일부 전

문가들 사이에만 시행되고 있으며 지나치게 높은 사고율로 인해 산업 잠수나 군사 잠수에는 현재 도입이 되고 있지 않다.

## 2.2 생리학적인 문제

잠수를 하면 수압 증가로 인하여 신체에 많은 영향을 끼친다. 본 논문에서는 전문 잠수사들이 잠수 시간과 수심, 활동량, 환경 조건과 관련하여 이번 해군의 구조 임무와 같은 환경에서 잠수사들이 겪을 수 있는 주요 생리학적 문제들을 중심으로 기술하였다.

### 2.2.1 질소마취(nitrogen narcosis)

수중에서 압축공기로 호흡할 때는 폐 속의 질소 분압이 혈액의 질소분압보다 높아지므로 질소가 체내에 흡수되어 축적된다. 수심이 깊어질수록 그리고 시간이 길어질수록 체내에 축적되는 질소량도 많아진다. 체내에 들어온 질소는 농도가 낮을 때는 아무런 부작용도 나타내지 않지만 농도가 높을 때는 신경세포막에 작용하여 신경의 정보전달 기능을 마비시키는 마취작용을 일으킨다.

질소마취 현상은 공기 잠수시 약 30 m 수심에서 그 증세가 나타나기 시작하는데 사람마다 저항력이 크게 다르다. 처음에는 술에 취한 것처럼 느껴지지만 수심이 깊어질수록 사고력, 판단력, 추리력, 기억력이 점차 흐려지며, 심하면 황홀감에 사로잡혀 무서운 것이 없어진다. 사리판단이 극도로 흐려져 임무수행이 불가능해지고 응급사태에도 대처하지 못하므로 아주 위험하게 된다. 그리고 체내에 이산화탄소 농도가 높으면 같은 수심에서도 질소마취가 더 쉽게 온다. 따라서 수중에서 힘든 일을 할 때는 질소마취의 위험성이 높아지며, 음주, 불안감, 추위 등에 의해서도 질소마취 증세가 심화된다.

질소마취의 위험성 때문에 공기 잠수는 그 깊이가 제한되어 있다. 레저 잠수에서는 안전수심을 보통 30 m로 제한하며, 훈련이 잘된 경우 40 m까지도 허용하지만 극히 조심해야한다. 산업 잠수에서는 협회의 기준에 따라 다르지만 최대 57.9

1) Self Contained Underwater Breathing Apparatus

m(190 ft)로 제한하고 있다. 한편 심해잠수에서는 질소마취를 방지하기 위하여 질소대신 헬륨을 넣어 산소와 혼합한 헬리옥스(heliox) 또는 헬륨, 산소 그리고 소량의 질소를 혼합한 트라이믹스(trimix)를 사용한다.

### 2.2.2 산소독성(oxygen toxicity)

잠수를 할 때 산소분압이 높은 기체를 호흡하면 활성산소의 생성량이 너무 많아지고 효소들이 이를 다 처리하지 못하므로 세포가 손상을 입는다. 이러한 세포손상은 호흡기와 신경계통에서 잘 일어난다. 만일 산소분압이 0.6기압(공기 잠수시 수심 약 20 m)인 기체를 6시간 이상 호흡하면 폐와 기관지 세포가 손상되어 호흡곤란을 일으킨다(호흡계 산소독성). 또 산소분압이 1.6기압(공기 잠수시 수심 약 70 m) 이상인 기체를 45분 이상 호흡하면 신경세포막의 기능이 변하여 중추신경계에 이상이 나타난다(중추신경계 산소독성).

압축공기(산소비율 21%)를 사용하는 레저 잠수에서는 잠수시간이 보통 1시간 이내이고 잠수심도가 40 m 이내이므로 산소독성이 나타날 확률이 거의 없다. 그러나 전문 잠수사들과 같이 100% 산소를 사용하거나 감압 과정에서 산소비율이 높은 혼합기체를 사용할 때는 중추신경계에 산소독성이 나타날 위험성이 있는데, 증상은 발작, 구토, 현기증, 근육경련, 사지마비, 시야 축소, 피로감, 정신착란 등이다.

### 2.2.3 감압병(decompression sickness)

잠수사가 물 밑에 있다가 수면으로 올라오면 폐속의 질소분압이 낮아지므로 조직에서 혈액으로, 그리고 혈액에서 폐로 질소가 빠져 나오는데 혈액 순환량이 적은 조직에서는 그 속도가 매우 느리다. 따라서 이런 조직은 잠수사가 급히 부상하면 마취맥주병 마개를 딸 때처럼 질소기포가 형성된다. 이 기포는 상승하면서 점차 커져서 조직에 손상을 입히거나 혈액을 따라 움직이다가 가느다란 혈관을 막아버리는데 이것이 감압병이 생기는 원리이다.

감압병은 사지, 특히 어깨와 팔꿈치의 관절부위에 잘 나타나며 보통은 지속적으로 통증을 느낀다. 또한 척추를 지나가는 신경에 손상을 준다. 처음에

는 통증이 등에서 시작하여 배 쪽으로 확산되다가 점차 다리가 저리고 힘이 없어지며 걸음걸이가 이상해진다. 때로는 소변을 볼 수 없게 되며 결국에는 목이나 허리 또는 다리에 마비가 온다. 감압병에 대한 저항성은 개인차가 크며 또 나타나는 시간도 다양하다. 감압병에 걸리지 않으려면 한꺼번에 급히 올라오지 말고 감압표에 따라 중간에 정지하여 감압을 하면서 서서히 올라와야 한다. 일반적으로 잠수심도가 깊을수록, 또 해저에 체류하는 시간이 길수록 올라오는 시간이 길어진다.

한편 잠수시간과 깊이가 어느 한계를 넘지 않으면 상승 도중에 감압정지를 하지 않아도 되는데 이를 무감압잠수라 한다. 미국 해군에서는 잠수를 시작하여 해저를 출발하기 전까지의 시간을 보텀타임(bottom time)이라 정의하고 잠수심도가 70 ft(21 m)일 때는 보텀타임 48분 이내, 100 ft(30 m)일 때는 25분 이내, 그리고 130 ft(40 m)일 때는 10분 이내일 경우 무감압잠수를 하도록 정하고 있다.

### 2.2.4 체열 손실

수중에서는 피부를 통한 체열 손실이 주로 대류 작용에 의해서 일어난다. 물은 공기에 비해 비열이 1,000배 정도이며 열전도도는 약 25배 정도이기 때문에 대류성 열전달을 쉽게 일으킨다. 따라서 수중에서는 같은 온도의 공기 중보다 체열 손실이 월등히 빠르며, 찬물에서 활동할 때 특별히 고려해야 할 생리학적 문제가 바로 저체온증이다.

체온(심부온도)이 36℃ 이하로 내려가는 것을 저체온증이라 하는데, 체온이 35℃ 이하로 내려가면 정신적 육체적 작업수행 능력이 떨어지기 시작한다. 그래서 전 세계적으로 안전한 수중활동을 위한 체온의 하한선을 35℃로 잡고 있다. 또 체온이 30℃ 이하가 되면 자극에 대한 반응이 없어지고, 통증을 느끼지 못하며 의식을 상실하게 되므로 익사하기 쉽다. 따라서 30℃를 저체온증에 의한 사망의 기준으로 삼는다. 겨울철 우리나라 남해안의 평균 수온이 약 10℃인데 보통사람들은 이러한 수중에서 3-4시간 지나면 체온이 30℃까지 떨어진다 [3]. 참고로 [4]의 연구결과에 의하면 수온 4℃

부근에서 정상복 차림으로 침수될 경우 생존 가능 시간은 1시간 이내일 것으로 추측되고 있다.

2.3 작업 환경에서의 신체 항력

흐름 속에 놓인 물체가 받는 저항( $F_D$ )은 유체의 밀도  $\rho$ , 흐름의 속도  $V$ , 항력계수  $C_D$ , 그리고 투영면적  $A$ 를 사용하여 식 (1)과 같이 표현한다.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D A \quad (1)$$

즉 동일한 조건에서 유속이 2배 증가하면 항력은 4배, 3배 증가하면 저항은 9배 커진다. 조금 더 실질적인 계산을 위해 해수의 밀도  $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ , 잠수사의 평균 신장이 176 cm, 폭이 35 cm라고 가정하면, 흐름에 대해 정면으로 서 있을 때의 투영면적은  $0.616 \text{ m}^2$ , 그리고  $C_D = 1.2$ 로 가정할 경우 유속이 3 knots (=1.542 m/s)이면 항력은 다음과 같이 계산된다.

$$F_D = 0.5 \times 1025 \times (1.542)^2 \times 1.2 \times 0.616 = 900.8 \text{ N} = 91.9 \text{ kgf}$$

참고로 인체에 대한 항력계수는 1.0-1.3이며[5] Reynolds 수에 따라 달라진다.

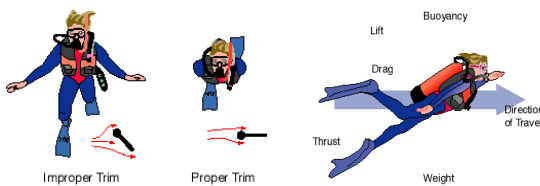


Figure 1: Forces on Diver.

Figure 1에 잠수사가 전진할 때 잠수사에게 작용하는 외력이 도시되어 있다. 또 Table 1에는 잠수사들이 받는 흐름의 항력을 계산한 수치들이 나와있는데[6], 수직 자세에서는 수평 자세일 때보다 5배 이상의 큰 저항을 받는 것을 알 수 있다.

Table 1: Approximate drag forces exerted on a diver in the vertical and horizontal modes.

Current Speed (knots)	Forces on diver Standing Facing Current (kg)	Forces on Diver Horizontal Facing Current (kg)
1	10	2
2	41	7
3	94	16
4	167	28
5	260	44

3. 인증제도와 기준

3.1 잠수 인증

3.1.1 레저 스쿠버

레저 스쿠버 잠수의 인증증(certification card)은 스쿠버 잠수 교육단체에 의해서 발급되는데 각 단체들 나름대로 설정한 기준(standard)에 따라 교육과정을 운영한다. 이 기준에는 등급별로 최소한의 교육시간, 이론, 수영장 및 해양 실습의 내용과 횟수, 최대 잠수 수심 등이 상세하게 명시되어 있다. 해당 교육단체에 소속된 강사는 표준규정에 맞도록 훈련을 시키고, 소정의 검정 절차를 거친 다음, 해당 교육단체에 소정의 문서로 발급 요청을 하면, 교육생에게 인증증이 발급된다.

초기에 발급한 인증증은 그저 소정의 교육과정을 이수한 수료증에 지나지 않았다. 즉 요즈음과 같이 어떤 서비스를 받기 위한 목적이 아니고 단순히 교육과정을 성공적으로 이수했다는 일종의 명예를 위한 증표였다. 그러다 잠수 산업이 활성화되고 레저 дай버들의 수가 급속히 늘어나면서 인증증은 잠수 하는데 없으면 안 될 필수적인 요소가 되었고, 잠수 교육과정을 이수했다는 증명과 дай버의 안전과 관련되어 잠수할 수 있는 기술 수준을 명시하고 있다.

3.1.2 산업 잠수

현재 전 세계적으로 통용되는 잠수 분야의 대표적인 인증기관으로 미국을 중심으로 하는 ADCI<sup>2)</sup>와 유럽을 중심으로 하는 IMCA<sup>3)</sup>를 예로 들 수

2) Association of Diving Contractors International

3) International Marine Contractors Association

있다. 이들은 각각 미국의 OSHA<sup>4)</sup> 및 영국의 HSE<sup>5)</sup>와 연계성이 있다. 이들 기관은 산업 잠수사에 대한 인증과 잠수작업에 대한 기준을 제시하고 있다. 세계 각국의 주요 수중공사 현장에서는 이들 기관에서 정한 기준에 맞도록, 또는 이와 유사한 국가 기준 또는 기관 자체 기준을 제정하여 두고 이 기준에 맞지 않으면 아예 작업을 할 수 없도록 하여 철저하게 안전 시스템을 운용하고 있다. 우리나라의 경우 산업 잠수 분야의 국가자격증으로 잠수산업기사와 잠수기능사가 있다. 2008년 현재 약 350명의 잠수산업기사와 약 3,000명의 잠수기능사가 활약하고 있다. 그러나 이 자격증을 획득하고도 외국에서 발주되는 수중공사에 인증을 받지 못하고 있는 실정이다. 또한 수중 작업에 대한 법규 및 기준도 기초적인 수준에 머무르고 있어 향후 대폭적인 보완이 요구되고 있다.

### 3.1.2 군사 잠수

군사 잠수의 경우 국가마다 다르겠지만 대개 자체에서 수립한 훈련 계획에 따라 임무 수행에 필요한 훈련을 하고 해당 과정을 수료한 대원들에게는 수료증을 수여하는 정도이다.

선진 잠수 교육훈련 체계의 사례로는 미국 해군 잠수교범(US Navy Diving Manual)<sup>[7]</sup>을 통해 세계 잠수교리의 표준을 제공하고 있는 미국 해군의 NDSTC<sup>6)</sup>와 연구기관인 NEDU<sup>7)</sup>를 들 수 있다. NDSTC는 잠수와 구조 분야를 교육·훈련시키는 해군 교육사 예하 기관으로, 육·공군, 해병대 및 해안경비대의 잠수 교육훈련을 통합하여 실시하고 있으며, 추가적으로 세계 40여 국가의 잠수사들을 교육시키고 있다. NDSTC에는 총 22개의 교육과정이 있으며, 신분별, 군별, 기능별로 구분되어 있다<sup>[3]</sup>. 현재 우리나라 해군의 잠수 기준은 거의 미국 해군의 잠수교범을 따르고 있다.

## 4. 잠수 작업

### 4.1 사고 해역의 환경 조건

천안함의 사고 위치는 백령도 서남방 약 1.7 km 지점으로 백령도와 대청도 사이이다. 함미가 가라앉은 지역은 수심이 45 m이고, 사고 다음날 해상에는 풍속 8-12 knot의 강한 바람이 불었으며, 수온 4.2℃, 파고 1.5-2.5 m, 유속 3-4 knot, 수중가시도 30 cm 등의 조건으로 잠수 작업에는 아주 좋지 않은 극한 상황이라 할 수 있다.

일반적으로 황해는 조석간만의 차가 크고 유속이 빨라 잠수 작업을 할 때 대개 조금 부근의 시기를 택하여 하루 2번 흐름이 가장 약한 정조 시간에 맞추어 실시하는데, 작업 가능시간은 약 1시간 정도이다.

### 4.2 우리 해군의 잠수체계

#### 4.2.1 스쿠버 잠수체계

스쿠버 잠수체계(**Figure 2(a)**)는 잠수사들의 장비들 쉽게 운반할 수 있으며, 신속하게 작업을 전개할 수 있고, 적은 인원으로도 운용이 가능하다. 또한 수중에서 잠수사의 활동이 자유로운 이점이 있어 해군에서는 넓은 해역의 수색작업에 주로 운용되고 있다. 그러나 잠수 수심과 해저 체류시간에 제한을 많이 받으며, 잠수사의 신체를 보호하기가 곤란하고 잠수사간의 의사소통이 어려운 단점이 있어, 전문 구조작업에는 제한적으로만 운용되고 있다.

폐쇄식 스쿠버는 산소독성의 위험으로 잠수수심이 엄격히 제한된다. 보통 7 m 이내의 얕은 수심에서만 운용이 가능한데, 해군에서는 은밀침투 목적 이외에는 거의 사용되지 않는다. 반폐쇄식 스쿠버는 작업수심에 따라 혼합기체의 산소분압을 조절하여 대심도까지 잠수할 수 있다. EOD<sup>8)</sup> 잠수사가 주로 사용하며, 포화잠수사의 비상기체 공급장치로도 사용되고 있다.

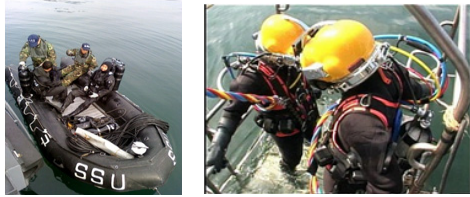
4) Occupational Safety and Health Administration

5) Health & Safety Executive

6) Naval Diving and Salvage Training Center

7) Navy Experimental Diving Unit

8) Explosive Ordnance Disposal



(a) Scuba

(b) SSDS

Figure 2: Korean NAVY Divers.

#### 4.2.2 표면공급 잠수체계

표면공급 잠수체계(SSDS<sup>9)</sup>)는 많은 인력과 장비가 소요되는 전문적인 잠수체계이며(Figure 2(b)), 현장에는 치료챔버와 전문 의료요원이 있어야 한다. 표면공급 잠수체계는 스쿠버에 비해 잠수 수심과 해저 체류시간의 제한이 적고 잠수사의 신체를 잘 보호할 수 있으며, 수상의 지원요원과 통화가 용이하다. 공기 잠수로는 최대 57.9 m(190 ft)까지 잠수가 가능하며, 혼합기체 잠수로는 91.4 m(300 ft)까지 잠수할 수 있다.

표면공급 잠수에서 포화잠수를 실시하기 위해서는 심해잠수체계 DDS<sup>10)</sup>가 필요하다. DDS는 잠수사의 작업수심과 동일한 환경을 조성해 주는 합상 가·감압 챔버인 DDC<sup>11)</sup>와 DDC 조종실, 잠수사에게 호흡할 기체를 공급해주는 기체 저장실, 잠수사를 작업수심까지 안전하게 이동시켜 주는 인원이송장치인 PTC<sup>12)</sup>, PTC 조종실 등으로 구성되어 있다. 포화잠수는 100 m 이상의 수심에서 장기간 작업을 하기 위해 고안된 것으로 우리 해군의 청해진함의 심해 잠수체계로는 300 m까지 포화잠수가 가능하다.

#### 4.3 잠수 방식의 결정

각종 잠수체계 및 장비들은 각각의 장·단점 및 제한사항을 갖고 있으므로 상황에 따라 이들을 적절하게 선택하여 운용하여야 안전하면서도 경제적으로 효율적으로 임무를 수행할 수 있다. 일반적으

로 잠수 방식을 결정할 때는 수심과 잠수 가능시간, 작업의 종류, 환경 조건, 작업 기간을 고려한다.

이번 임무의 경우 사고 현장의 수심이 45 m이므로 공기 잠수가 가능하다. 또 당시 상황이 시각을 다투는 긴급 상황이므로 장비와 인원 구성이 복잡한 표면공급식 장비 보다는 간단한 준비로 수색작업을 바로 개시할 수 있는 스쿠버 방식이 선호된다. 그리고 표면공급식 장비를 운용하려면 지원 선박이 3점 또는 4점 묘박을 하여 고정된 위치에서 잠수사들을 지원해야 하는데 사고 해역과 같이 조석간만의 차가 심한 장소에서는 이 작업 또한 매우 어려운 도전이다.

공기 잠수에서 각 잠수 방식의 사용 제한은 미국 해군 잠수교범 6.6에 개괄적으로 나와 있다. 산업 잠수에서는 군사 잠수에서보다 안전한 영역에서 잠수하도록 기준에 명시하고 있는데 IMCA 기준에 바탕을 둔 ADNOC<sup>13)</sup> cop-v에 의하면 가시도 2 m 이하, 유속 1 knots 이상, Beaufort scale 3 이상의 해상 상태에서는 안전을 고려하여 스쿠버 방식으로 작업을 하지 못하게 정하고 있다.

## 5. 고 찰

### 5.1 잠수 방식 및 장비

천안함 침몰사고의 초기에 매스컴에서 발표한 내용 중에는 오해를 한 부분이 몇 군데 발견된다. 우선 각종 매스컴에서 해군 잠수사들의 임무수행에 사용된 실린더(탱크라고도 함)를 산소통이라고 지칭하였는데, 이는 산소통이 아니고 공기가 충전된 공기통이다. 물론 레저 잠수에 일반인들이 사용하는 스쿠버 탱크도 공기를 충전시킨다. 아마 재호흡기에 사용되는 산소통을 오인한 것으로 추측된다. 다음은 심해 잠수에 대한 부분으로 해군의 장비 준비 부족에 대한 질책이 있었는데, 이는 잠수 방식의 결정 요인 및 절차를 잘 이해하지 못하였기 때문인 것으로 생각된다. 만일 심해 잠수장비를 사용

9) Surface Supplied Diving System

10) Deep Diving System

11) Deck Decompression Chamber

12) Personal Transfer Capsule

13) Abudabi National Oil Company

하기로 결정하였을 경우에는 장비와 절차의 복잡성은 말할 것도 없고 운용을 하기 위해 많은 인력이 투입되어야 하며, 또 그 인력들과 운용 장비들을 수용할 수 있는 충분한 공간이 필요하다. 미국 해군 잠수교범에 의하면 혼합기체 잠수사 1명을 입수 시키는데 필요한 인원이 12명이다.

## 5.2 환경 조건

이번 천안함 사고의 잠수 작업에서 가장 장애가 심한 환경 요인은 유속이다. 잠수 기준에서 대개는 1 knot를 작업 한계로 정하고 있지만 IMCA의 경우 표면공급식 장비를 사용할 경우 정상적인 작업은 0.8 knot 이내, 0.8-1.0 knot는 경작업, 1.0-1.2 knot는 관찰만 하도록 되어있다. 유속이 1.2-1.5 knot 사이에서는 잠수사의 능력에 따라 감독관과 잠수사가 협의하여 결정하도록 되어 있다. 그리고 1.5 knot 이상에서는 기본적으로 잠수가 허용되지 않지만 불가피하게 잠수를 실시해야 할 경우 잠수 장비와 잠수사에게 유속을 극복할 수 있는 특별 조치와 별도의 안전 대책을 수립하도록 하고 있다.

그 다음 어려운 환경 조건은 낮은 수온인데, 잠수사들이 입는 잠수복은 보온력이 뛰어나서 건식 잠수복을 입을 경우 빙점 부근의 찬 물에서도 수 시간 작업을 해도 활동에 크게 지장을 받지 않는다 [8]. 심지어 일반 스포츠 다이버들도 얼음 밑 잠수 활동을 즐긴다. 그러나 건식 잠수복은 신체와 잠수복 사이에 공기층을 형성하여 단열시키므로 습식 잠수복보다 부피가 커지는 단점이 있다. 부피가 커지면 유속이 강할 경우 큰 저항을 받게 된다. 또 건식 잠수복은 공기통의 공기를 주입시켜 압력평형을 하므로 스쿠버 방식과 같이 공기량이 제한될 경우에는 공기 소모 측면에서 불리한 면이 있다. 그리고 이번 임무와 같이 매일 반복하여 몇 번씩 잠수를 해야 할 경우 목과 손목이 죄는 불편성도 감안할 경우 이번 작업의 잠수복 선택에 있어서 보온성과 저항 측면에서 어느 잠수복을 선택할 것인가에 대한 고민이 컸을 것이다.

그리고 사고 해역의 수중 가시도도 30 cm 정도로 작업에 어려움을 더하였다. 수중에 부유물이 많

을 경우 20 m 이상만 잠수하여도 칠흑과 같이 어두운 상태가 된다. 이런 상황에서 훈련이 잘된 잠수사들은 크게 어려움을 느끼지 않을 것이지만 능률적인 측면에서 큰 장애 요인이라 할 수 있다.

## 6. 결 언

금번 천안함 침몰사고에서 해군에게 부여된 초기 임무는 실종자 수색이다. 인양 작업일 경우 중작업으로 인해 요구되는 공기를 스쿠버 방식으로 충분히 공급할 수 없지만, 수색 작업은 인양 작업과 달리 체력 소모가 크지 않아 스쿠버 방식으로도 임무 수행이 가능하다. 더구나 작업 기준을 훨씬 넘어선 강한 유속에서 작업을 수행할 때는 부피가 크고 복잡한 표면공급식보다는 기동력이 있는 스쿠버 방식이 올바른 선택이라고 사료된다. 또한 작업 수심이 45 m인 점을 고려할 때 공기 잠수 방식의 선택도 문제가 없는 것으로 분석되었다.

엄밀히 말해서 이번 잠수작업은 비상 상황인 관계로 기준을 무시하고 진행하였다고 할 수 있다. 국제 기준이나 안전을 고려하면 작업을 해서는 안 되는 극한 상황이었다. 그러나 군사 작전의 경우 이번과 같이 거의 불가능한 상황에서도 임무를 수행해야 하는 경우가 종종 발생하므로, 상황별로 구분하여 우리 나름대로의 표준 절차를 확립해 둘 필요가 있다.

잠수 작업은 위험 요인이 많아 조그만 실수가 사고로 연결되는 경우가 많다. 구조 작업이 또 다른 구조 작업을 낳는 오류를 범하지 않아야 한다. 그런 일이 발생되지 않게 하려면 우선 작업 기준이 존중되어야 하며, 철저한 상황 분석을 통해 올바른 작업 계획이 수립되어야 하고, 계획대로 작업이 진행되어야 한다. 향후 총체적인 위기대응 계획과 함께 이번 사고의 작업일지 분석을 통하여 더욱 효율적인 수중 구조작업의 절차가 확립되어야 할 것이다. 그리고 이와 더불어 해군에서는 어느 해역이든 신속하게 작업을 전개할 수 있도록 인력과 장비를 확보해야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 강신영, 잠수일반, 한국산업인력공단, p. 2,

- 2004.
- [2] A. J. Bacharach, "A Short History of Man in the Sea", The Physiology and Medicine of Diving, 3rd Ed., London, pp. 1-14, 1982.
- [3] 박정식, 해군 잠수의 역할과 잠수 교육훈련체계 발전방향, 한국해양대학교 대학원 석사 논문, p. 47, 2008.
- [4] E. H. N. Oakley and R. J. Pethybridge, The Prediction of Survival during Cold Immersion, INM Report No. 97011, 1997.
- [5] M. Vladimir Zatsiorsky, Kinetics of Human Motion, Human Kinetics Publisher, p. 90, 2002.
- [6] IMCA, The Effect of Underwater Currents on Divers' Performance and Safety, AODC 047, pp. 1-5, 1987.
- [7] USN, U.S. Navy Diving Manual, Rev. 6, SS521-AG-PRO-010, 2008.
- [8] NEDU, Manned Evaluation of a Prototype Composite Cold Water Diving Garment Using Liquids and Superinsulation Aerogel Materials, NEDU TR #05-02, p. 24, 2005.

## 저 자 소 개



### 강신영(姜信榮)

1981년 연세대학교 기계공학과 (공학사), 1984년 플로리다 아틀란틱대학 해양공학과(공학석사), 1987년 플로리다 아틀란틱대학 해양공학과(공학박사), 1987년 - 현재 한국해양대학교 해양공학과(교수). 관심분야: 수중잠수기술, 수

색구조, 해양레포츠