

물 속 폭발에 의한 잠수사 사망

나주영¹ · 박정우¹ · 윤석현²
박종신³ · 최병하⁴ · 김윤신⁵

국립과학수사연구원
광주과학수사연구소¹ 법의학과,
²이공학과, ³법화학과
⁴국립과학수사연구원
중앙법의학센터
⁵조선대학교 의과대학 법의학교실

Received : October 12, 2014
Revised : October 23, 2014
Accepted : October 31, 2014

Corresponding Author
Joo-Young Na
Forensic Medicine Division, Gwangju
Institute, National Forensic Service, 687
Chungnyeong-ro, Seosam-myeon,
Jangseong 515-822, Korea.
TEL : +82-61-393-8442
FAX : +82-61-393-8440
E-mail : pdrdream@gmail.com

Diver Death due to Underwater Explosion

Joo-Young Na¹, Jeong-Woo Park¹, Seok-Hyun Yoon², Jong-Shin Park³,
Byung-Ha Choi⁴, Youn-Shin Kim⁵

¹Forensic Medicine Division, ²Physical Engineering Division, ³Forensic Chemistry Division,
Gwangju Institute, National Forensic Service, Jangseong, Korea, ⁴Medical Examiner's Office,
National Forensic Service, Wonju, Korea, ⁵Department of Forensic Medicine, Chosun
University School of Medicine, Gwangju, Korea

A 44-year-old man was cutting an outer plate of a ship, at a depth of 25 m below sea level. Following a sudden explosion, he was discovered unconscious and was carried to the surface by other divers. There was no evidence of vital signs upon arrival at the hospital. Postmortem computed tomography, which was performed prior to autopsy, revealed massive pneumocephalus in the brain, pneumothorax, diffuse lung contusions with multiple traumatic lung cysts, air-fluid level in the cardiac chamber of the chest, and pneumoperitoneum in the abdomen. Postmortem external examination showed a circular abrasion on the jaw, diffuse subcutaneous emphysema, and contusion in the right upper arm. An internal examination revealed intravascular air bubbles in all four chambers of the heart, and diffuse pulmonary trauma including contusion, laceration, and multiple traumatic cysts. Blast injury to the chest, and air embolism due to the underwater explosion were established as the underlying cause of death.

Key Words : Air embolism, Blast injury, Diving, Autopsy

서 론

잠수 관련 사망에 대한 부검은 법의학자들에게 부담이 되는 업무 중 하나이다. 이에 대한 법의부검이 흔하지 않기 때문에 경험하기가 쉽지 않고, 사망이 물 속에서 발생하였다는 점에서 환경적 특수성이 있으며, 그에 따라 공기색전증(air embolism)과 같은 독특한 부검조건이 있을 수 있기 때문이다. 또한, 잠수 당시 환경, 잠수 장비 등의 문제 역시 고려되어야 하기 때문이다.¹⁾ 저자들은 물 속에서 작업 중 폭발 사고에 의한 잠수사 사망의 부검을 경험하였는바, 현장 상황, 영상의학적 검사 및 특징적인 부검소견을 문헌 고찰과 함께 보고하고자 한다.

증 례

변사자는 44세 남성으로 수심 약 25 m 바다 속에서 선박의 외판을 절단하는 작업 중이었다. 이후 '펑' 소리가 났고, 같이 작업 중이던 동료 작업자가 확인해 본바, 변사자는 쓰러진 채 숨을 쉬고 있지 않는 상태였다. 곧바로 구조 잠수사가 투입되어 변사자를 수면 위로 상승 시킨 후 병원으로 이송하였으나, 변사자는 병원 도착 전에 사망한 상태였다. 변사자는 수중 작업 당시 압축된 대기의 공기에 약간의 산소를 첨가한 공기를 바지선으로부터 공급 받고 있었고, 수중 산소아크 절단법으로 선박의 외판을 절단하는 작업 중이었다. 구조 후 즉시 심폐소

생술이 시행되었으나, 반응이 없었다. 병원에서 사망신고가 이루어진 후 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT)이 시행되었다. 뇌와 가슴부위에 대한 컴퓨터단층촬영 검사상 머리 부위에서는 다량의 기뇌증(pneumocephalus)이 있었고(Fig. 1a), 기타 뇌출혈 등의 소견은 없었다. 가슴부위에서는 다량의 혈액기흉(hemopneumothorax)과 세로칸공기증(pneumomediastinum) 및 양쪽 폐에서 광범위한 폐좌상 및 폐부종이 있었고, 다발성의 외상성 공기집(traumatic lung cyst)이 있었다. 심장과 대동맥에서 공기액체층(air-fluid level)이 확인되었다(Fig. 1b). 목과 가슴 및 배부위에서 피부밑공기증(subcutaneous emphysema)과 공기배증(pneumoperitoneum)이 있었다.

부검은 사망 다음 날 시행되었고, 변사자는 키 약 171 cm, 몸무게 약 70 kg인 남성이었다. 양쪽 눈부위에 좌상이 있었고, 양쪽 귀 안에서 피가 흘러내리는 소견이 있었으며, 아랫입술에서 점막하출혈이 있었다. 변사자의 턱부위에서 지름 약 2.5 cm인

원형의 표피박탈이 있었고(Fig. 2a), 잠수헬멧 안쪽에서는 원형의 공기 투입구가 있었다(Fig. 2b). 신체 여러 부위에서 피부밑 공기증이 있었고, 오른위팔부위와 오른 집게손가락에 좌상이 있었다. 심폐소생술 등 의료행위에 의한 것으로 생각되는 손상 외에 기타 특기할 손상은 없었다. 뇌혈관의 내강에서 다수의 공기방울이 있었다(Fig. 3a). 앞머리우묵(anterior cranial fossa) 부위에서 뼈 밑 공간내출혈이 있었고, 별집뼈 체판(cribriform plate of ethmoid bone)에 미세한 골절이 있었다. 기타 신체부위 여러 곳의 혈관 내강에서 공기방울이 있었고, 심장의 심방과 심실 네 곳 모두와 대동맥 내강에서도 공기방울이 확인되었다(Fig. 3b). 가슴, 배부위에서 다수의 점상 피하연부조직출혈이 있었고, 오른쪽 7-10번 갈비뼈부위에서 근육간출혈을 보는 것 외에 갈비뼈 골절 등의 손상은 없었다. 세로칸공기증과 양쪽 가슴공간에 혈액가슴(hemothorax)이 있었다. 폐에서는 부분적인 폐열창, 폐문부 파열, 출혈을 동반한 다수의 공기집 형성 및 폐실질내출혈 등 광범위한 폐손상이 있었다(Fig. 3c). 기타 실

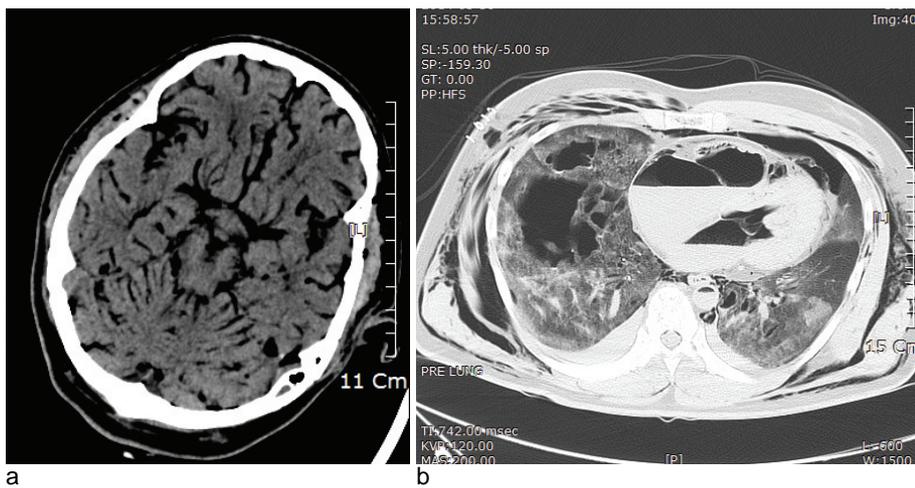


Fig. 1. Brain computed tomography shows a massive pneumocephalus and air in the cerebral vessels and subcutaneous tissue (a). Chest computed tomography shows a massive subcutaneous emphysema, pneumothorax, pneumomediastinum, multiple traumatic lung cysts, and air fluid levels in cardiac chamber and aorta (b).

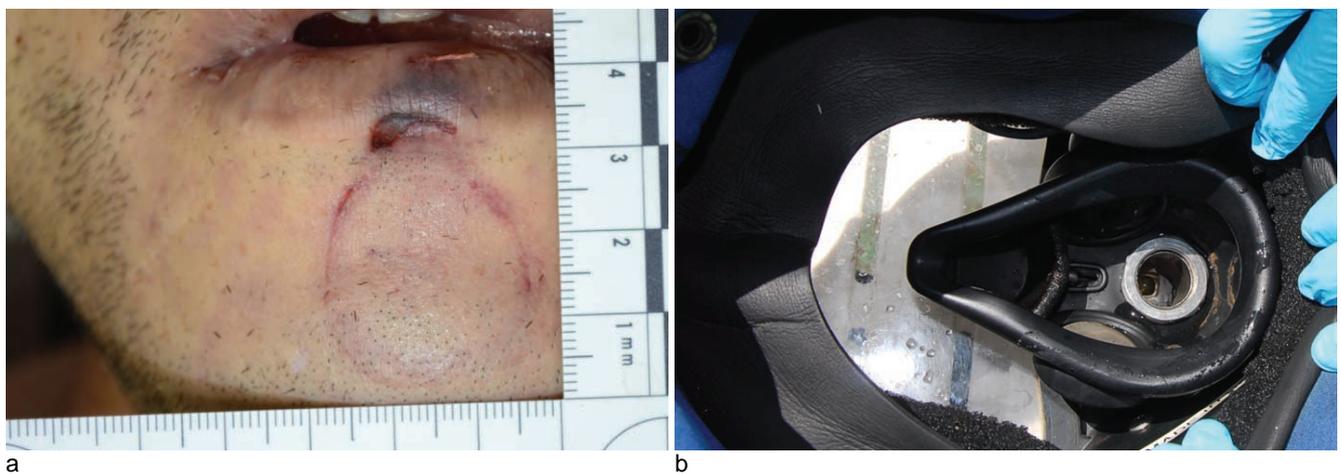


Fig. 2. A circular abrasion sized about 2.5 cm in diameter is noted in his jaw (a). And a similar sized circular air-orifice is noted in the diving helmet (b).

질 장기에서는 특기할 손상을 보지 못하였다.

법의학적 검사상 내부 장기에서 플랑크톤이 검출되지 않았고, 위 내용물과 혈액에서 특기할 약물 및 독물이 검출되지 않았다. 혈중알코올농도는 0.010% 미만이었으며, 심장과 대동맥에서 채취한 공기의 분석 결과는 각각 질소 81.2%, 산소 18.2%와 질소 78.4%, 산소 21.6%였다.

이상의 사건개요와 부검소견 및 법의학적 검사소견을 바탕으로 본 변사자는 물 속에서 발생한 폭발에 의한 가슴부위 폭풍손상(blast injury)에 의해 사망한 것으로 판단하였으며, 신체 여러 부위의 혈관 내에서 공기방울이 확인되었고, 공기의 성분분석 검사를 통하여 다량의 공기색전증이 사망에 기여하였을 것으로 판단하였다.

고 찰

잠수 중 사망한 변사자의 부검은 여러 가지 이유로 법의학자에게 부담이 되는 업무 중 하나이다. 잠수 중 사망한 변사자의 부검 시에는 여러 가지 고려할 점이 있는데, 다음과 같다. 먼저 수증환경 및 잠수 상황에 대한 조사가 필요하고, 잠수 장비에

대한 조사, 잠수자의 과거 질병력, 부검 전 영상의학적 검사 등이 필요하다. 부검 시에는 의사의 소견뿐 아니라 피부밀공기증에 대한 확인, 공기색전증을 확인하기 위한 혈관 내 공기방울에 대한 확인 및 가슴막밑 기포(subpleural bleb), 공기가슴증(pneumothorax), 폐실질내출혈 등 폐 압력손상(pulmonary barotrauma)에 대한 확인 등이 필요하다.¹⁾

잠수 관련 사망의 주된 사인은 익사, 공기색전증, 감압병 등이다.²⁾ 본 변사자는 수심 약 25 m 바다 속에서 선박의 외판을 절단하는 작업 중 발생한 불상의 폭발 후 의식이 없는 상태로 발견되었고, 부검 소견상 폐실질내출혈 등 가슴부위에서 광범위한 손상을 확인하였는바, 사인은 가슴부위 손상으로 판단하였다. 그러나 변사자가 입고 있던 잠수복에서 외부 손상 흔적은 발견되지 않았고, 부검 시 외부 검사상 가슴부위에서 좌상 등의 손상도 발견되지 않았다. 또한 갈비뼈 골절 등의 손상은 없었고, 폐에서만 광범위한 고도의 손상이 있었을 뿐 간 파열 등의 소견은 없었다. 따라서 주로 손상이 폐에만 국한된 이러한 소견은 외부로부터의 직접적인 가격과 같은 외력에 의해 발생하였다 하기 보다 물 속에서 발생한 폭발에 의한 압력과 등에 의해 발생한 것으로 판단하였다. 이러한 폭풍손상은 폐에

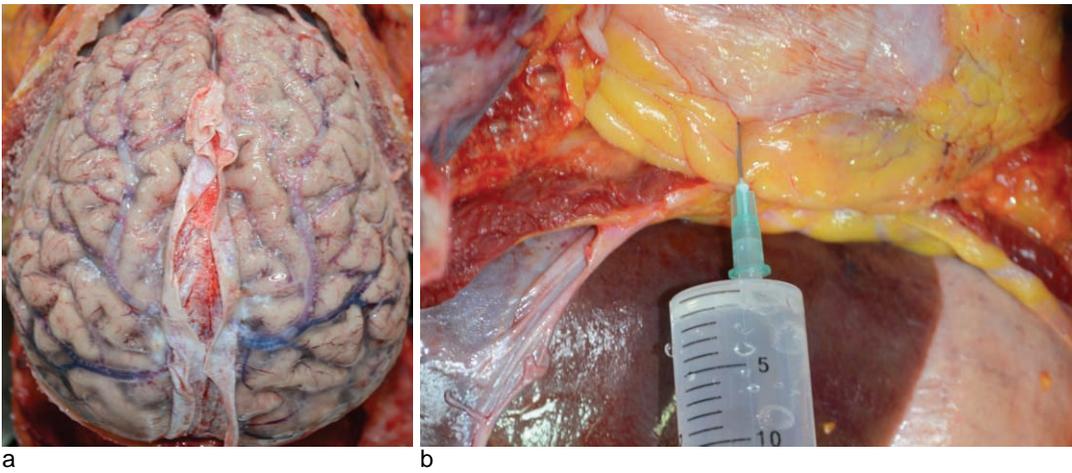


Fig. 3. Gas bubbles present in the superficial cerebral blood vessels (a). Gas bubbles are seen in the heart chambers (b). A massive pulmonary traumas including laceration, hilar rupture, multiple hemorrhagic cysts, and contusion are noted (c).



가장 큰 손상을 끼치는데, 폐는 공기를 포함하고 있는 장기로서 조직학적으로 폐를 이루고 있는 물질들의 큰 밀도 차이로 인해 비교적 균질한 밀도를 갖는 간, 근육 등과 같은 장기보다 폭발과 같은 상황에서 큰 손상을 받는다. 부검 시에는 폐외막의 반상의 출혈, 폐실질내출혈 및 출혈을 동반한 공기집의 형성 등의 소견을 볼 수 있다.³⁾ 또한 산업 잠수용 헬멧의 외부 손상 흔적은 없었으나, 헬멧 내부의 공기 구멍의 접촉에 의한 것으로 생각되는 정형 손상을 변사자의 턱부위에서 확인하였고, 변사자의 귀 안에서 출혈을 확인하였던바, 이러한 소견 역시 폭발에 의한 압력파의 손상을 뒷받침하는 소견으로 판단하였다. 폭발이 발생한 경위에 대해서는 물 속 약 25 m 깊이에서 산소아크 절단을 통한 선박의 외관 절단 작업 중 물이 전기 분해되어 수소 가스가 발생하였고, 이러한 수소 가스에 의해 폭발이 발생한 것으로 판단하였다.

잠수 중 사망자의 부검을 함에 있어서는 의사의 소견, 공기색전의 확인 및 폐 압력손상과 같은 몇 가지 특수한 고려가 필요하다. 뇌동맥 공기색전증을 확인하기 위해서는 부검 술기에 있어서 머리부위를 가장 먼저 절개해야 하고, 가능한 뇌가 손상을 입지 않도록 조심히 적출해야 한다. 이와 같이 뇌혈관뿐 아니라 신체 여러 부위의 혈관에서 공기색전의 소견을 확인할 수 있는데, 특히 심장에서는 네 개의 방실에서 각각 공기를 확인을 하는 것이 좋다.¹⁾ 또한 뇌혈관의 공기색전은 폐 압력손상에 따른 동맥공기색전증에 의해 발생할 수도 있지만, 감압병 상태에서 혈관 내강에 발생한 공기방울이 심장의 우-좌 단락을 통해 전신 순환하여 발생할 수도 있기 때문에 심장에서 단락에 대한 검사 역시 필요하다.⁴⁾ 이렇듯 혈관 내에 공기가 확인되는 경우는 몇 가지로 구분하여 생각할 수 있는데, 첫째, 부패에 의한 형성이고, 둘째, 고압의 공기를 흡입한 후 적절한 감압이 이루어지며 상승하지 못함에 의해 발생하는 혈관 내 공기의 형성(off-gassing)이며, 셋째, 폐 압력손상 등 폐 손상에 의한 폐포 내 공기의 혈관으로 유입에 의한 혈관 내 공기의 형성이고, 넷째, 양압의 기계호흡이나 혈관 내 주사침 등 의료행위에 의한 혈관 내 공기의 형성으로 생각할 수 있다.^{5,6)} 따라서 잠수 중 사망자에 대한 부검 시 혈관 내에서 공기방울이 발견된다면 이를 해석하는 데 주의가 필요하다. 이를 위해서 혈관 내 공기방울에 대한 공기 분석이 유용할 수 있는데, 부패에 의해 발생한 공기의 경우 상대적으로 질소와 산소 기체가 줄어들고 이산화탄소와 수소 기체가 증가하기 때문이다.³⁾ 또한 일정한 온도 하에서 기체의 용해도는 압력에 비례한다는 헨리의 법칙에 의해 발생하게 되는 감압병에서의 혈관 내 공기방울은 인체 조직에 녹아 있던 질소 기체이고, 이와 달리 폐 압력손상 등 폐 손상에 의해 발생한 혈관 내 공기방울은 흡입한 공기의 조성비와 비슷할 수 있기 때문이다.

본 변사자는 수면 위의 바지선에서 대기 중의 공기가 압축된 후, 압축된 공기에 일부 산소를 추가하여 공급받았다고 한다.

부검 시에는 뇌혈관, 심장 및 대동맥 등 신체 여러 부위의 혈관 내강에서 공기방울을 확인하였는데, 그 중 심장과 대동맥 내에서 공기를 채집하여 공기 분석을 시행하였다. 심장의 네 개 방실에서 채집한 공기의 공기 조성은 질소 81.2%, 산소 18.2%이었고, 대동맥 내에서 채집한 공기의 조성은 질소 78.4%, 산소 21.6%이었다. 또한, 심장에서 우-좌 단락과 같은 소견은 없었다. 따라서 이러한 공기는 폐 압력손상 등 폐 손상에 따라 혈관 내로 유입된 공기로 판단하였다. 다만, 심장과 대동맥 내의 공기 조성의 차이가 있었던 점은 심장의 경우에는 부적절한 감압에 의해 발생한 질소 기체가 혼합되어 질소 기체가 더욱 많았던 것으로 추정하였으나, 다른 가능성에 대해서는 오른심장과 왼심장 내의 기체를 구분하여 채집하는 등의 검사를 시행하지 못하여 이를 확인하지 못하였다.

잠수사의 사망 중 가장 많은 원인은 익사이나, 본 변사자는 잠수 작업 중 물 속 폭발에 의해 형성된 압력파에 의한 가슴부위 손상으로 사망한 것으로 판단하였다. 그에 따라 본 변사자는 부검소견상 물 속 폭발에 의한 폭풍손상에 합당한 소견을 보였고, 광범위한 혈관 내 공기방울이 확인되었다. 이러한 공기는 공기의 성분분석을 통해 폐 압력손상 등 폐손상에 의해 유입된 공기로 판단하였고, 이렇게 혈관 내로 유입된 공기에 의해 공기색전증이 발생하였을 것으로 판단하였다. 법의학적으로 잠수 사망에 대한 부검은 드문 경우일 뿐만 아니라 물 속에서 발생한 폭발에 의한 폭풍손상 역시 드문 증례인바, 저자들은 그에 대한 부검 및 검사소견과 그 해석을 문헌고찰과 함께 보고하였다.

Conflicts of interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

1. Kim YS. Technical approach for the postmortem examination of SCUBA diving fatality. *Korean J Leg Med* 2014;38:1-7.
2. Ihama Y, Miyazaki T, Fuke C, et al. Scuba-diving related deaths in Okinawa, Japan, from 1982 to 2007. *Legal Med (Tokyo)* 2008;10:119-24.
3. Saukko P, Knight B. *Knight's forensic pathology*. 3rd ed. London: Arnold; 2004. p. 274-5.
4. Turkmen N, Akan O, Cetin S, et al. Scuba diver deaths due to air embolism: two case reports. *Soud Lek* 2013;58:26-8.
5. Lawrence C. Interpretation of gas in diving autopsies. *SPUMS J* 1997;27:228-30.
6. Wheen LC, Williams MP. Post-mortems in recreational scuba diver deaths: the utility of radiology. *J Forensic Leg Med* 2009;16:273-6.