

[이차출판]

기화된 액체질소에 의한 산소결핍 질식

박종혁¹ · 권미아² · 김현지²
최병태³

국립과학수사연구원
부산과학수사연구소¹법의학과 및
²법화학과
³부산대학교 한의학전문대학원
경락구조의학부

Received: January 18, 2015
Revised: January 30, 2015
Accepted: August 17, 2015

This article is based on a study first reported in the Annual Report of The National Forensic Service, volume 47, 2015, as "Park JH. Asphyxia due to oxygen deficiency by evaporated liquid nitrogen".

Correspondence to

Byung-Tae Choi
Division of Meridian and Structural
Medicine, School of Korean Medicine,
Pusan National University, 49
Busandaehak-ro, Yangsan 626-815,
Korea
Tel: +82-51-510-8475
Fax: +82-51-510-8420
E-mail: choibt@pusan.ac.kr

[secondary publication] **Asphyxia due to Oxygen Deficiency by Evaporated Liquid Nitrogen**

Jong Hyeok Park¹, Mia Kwon², Hyun Jee Kim², Byung-Tae Choi³

¹Division of Forensic Medicine and ²Division of Forensic Chemistry, Busan Institute, National Forensic Service, Yangsan, Korea, ³Division of Meridian and Structural Medicine, School of Korean Medicine, Pusan National University, Yangsan, Korea

An 18-year-old man collapsed at his workplace while putting desiccant into a cylindrical mixer, 2 m × 1 m in dimension, which contained rubber powder. His coworker found him collapsed, and he was transported to a hospital by a 119 rescue team, where he died. Prior to the incident, liquid nitrogen had been placed into the mixer to lower the temperature of the rubber powder. There were no injuries or disease that could have caused death. Analysis of the gas in the mixer revealed that the O₂ concentration had dropped to 3.7% in 2 minutes following addition of the liquid nitrogen. Therefore, it was concluded that the cause of death was asphyxia due to oxygen deficiency caused by liquid nitrogen evaporation.

Key Words: Nitrogen; Anoxia; Asphyxia; Autopsy

서론

질소(N₂)는 중성의 속성을 지니고 있어서 산화를 피해야 하는 경우에 산소(O₂)를 대체할 수 있으므로 산업에서 널리 이용되고 있다. 또한, 질소는 공기의 정상적인 구성 성분이기도 하다 [1]. 맨홀에서 작업 중 사망하는 등 산소결핍에 의한 질식사는 법의학 실무에서 종종 접할 수 있다. 그러나 질소로 인한 산소결핍성 질식은 직접 접하기가 어려울 뿐 아니라, 문헌검색에서

도 적은 수만이 보고되어 있다. 이에, 산업체에서 일어난 질소로 인한 산소결핍성 질식사 1예를 보고하고자 한다.

증례

1. 사건 개요

변사자는 18세의 남성 생산 근로자로, 작업장 내에서 고무파우더 혼합 작업 지시를 받고 작업 중, 같은 조원이 다른 재료를 가



Fig. 1. Opening of the cylindrical mixer.

지러 간 사이, 방진마스크를 착용하지 않고 고무파우더가 약 300 kg 들어있는 직경 2 m, 높이 1 m 정도 되는 원통형 교반기의 위에 달린 직경 1 m 정도의 원형 뚜껑을 열고 고무파우더에 방습제를 넣기 위하여 고개를 숙이고 작업 중 갑자기 쓰러져 있는 것을, 회사 동료가 발견하고 신고하여 119 구급대에 의해 병원으로 후송되었으나 사망하였다(Fig. 1). 작업장은 자동차 대쉬보드 재료를 생산하는 공장으로서, 변사자가 작업하던 설비의 공정은 3층의 혼합기에서 냉각되어 1차 분쇄된 고무파우더를 약 95°C의 온도에서 건조시켜, 다시 2층의 교반기로 이동시켜, 이곳에서 액체질소 가스를 투입하여 온도를 약 30°C 정도로 낮춘 후, 교반기의 뚜껑을 열고 그 속에 방습제를 넣어 다시 교반한 후, 1층의 배출구로 배출하여 상자에 포장하여 완성하는 과정이었다.

2. 부검 소견

키 169 cm, 몸무게 61 kg으로, 좌우 눈꺼풀 결막에서 다수의 점출혈이 관찰되었으며 가슴부위에서 세 곳의 선 모양의 눌린 자국, 좌우살굴부위와 좌우 팔다리에서 응급치료 과정에서 생긴 것으로 추정되는 주사바늘 자국과 피하출혈반 등을 보였고, 전신 외표에서 사인으로 고려할만한 손상은 확인되지 않았다. 내부 검사상, 오른목빛근부위 아랫부분에서 국소적인 피하출혈, 후두점막에서 거품과 기관 삼관에 의한 것으로 추정되는 국소적인 점막출혈을 보였고, 좌우 폐기관지 점막에서 거품이 관찰되었다. 그리고 내부 장기에서 울혈 외 특기할 병변이나 손상은 확인되지 않았으며 혈액은 암적색으로 유동성을 보였다.

3. 검사 소견

독성학적 검사에서, 특기할 약물이나 독물은 검출되지 않았다. 혈중 알코올 농도는 0.01%미만이고, 혈중 일산화탄소-헤모글

로빈 농도는 1%이며, 심장혈액에서 휘발성 유기화합물(메탄, 프로판 등의 탄화수소 가스류와 톨루엔 등의 유기 용매류를 포함)은 검출되지 않았다. 눈유리체액의 임상화학 검사에서 사후 변성 외 특기할 소견을 보이지 않았다.

4. 현장 기체 성분 분석

사고 현장의 교반기 입구는 직경이 약 1 m이며, 내부는 원통으로 분쇄된 수지 분말이 채워져 있고, 약 70 cm 높이의 공간이 있었다. 수지를 냉각시키기 전(액체질소 투입 전, 온도 약 65°C)의 교반기 내부 기체를 채취하였으며, 냉각시킨 후(액체질소 투입 후, 온도 약 30°C)의 교반기 내부의 중간 정도 깊이에서 호스를 연결하여 기체를 채취하였다. 가스크로마토그래피(gas chromatography) 및 가스 측정기에 의하여 측정된 산소 농도는, 액체질소 투입 전 채취 기체는 20%, 액체질소 투입 후 채취한 기체는 6%였다. 액체질소 투입 후 뚜껑을 조금 열고 호스를 넣어 측정할, 시간에 따른 산소의 농도 변화는 0분에 4.1%, 1분에 3.8%, 2분에 3.7%, 3분에 5.6%, 4분에 6.5%, 5분에 6.7%였고, 이후 뚜껑을 완전히 열어 측정할, 시간에 따른 산소의 농도 변화는 6분에 12.6%, 7분에 17.7%, 8분에 18.9%, 9분에 19.5%였다.

5. 사인

사건 개요, 부검 소견(눈꺼풀결막 점출혈, 암적색 유동혈, 장기 울혈 등 질식사의 비특이적인 소견), 검사 소견, 현장 기체 성분 분석(최소 산소농도 3.7%)을 종합하여 사인은 산소결핍에 의한 질식사로 추정되었다.

고 찰

질소는 공기보다 무거운 불활성 기체로서 색깔, 냄새, 맛이 없으며, 지구 대기의 약 78%를 구성한다[2]. 질소는 다른 물질과 반응하거나, 다른 물질에 영향을 주지 않는 불활성 덕분에 산업적으로 많이 이용된다. 설비를 부식시키거나, 화재의 위험성이 있는 산소 등의 오염물질로부터 특정 물질을 보호하는 데 사용되고, 특정 물질을 설비에 넣기 전이나, 설비를 개봉 시 점화성 또는 독성 물질 등을 제거하는 정화 기체로도 쓰인다. 기체 질소는 우리가 숨 쉬는 공기의 구성 성분이기 때문에 많은 사람들은 질소가 무해하다고 생각한다. 그러나, 질소는 적정량의 산소가 섞여 있을 때만이, 호흡하는 데 안전하다[3]. 법의학 실무에서, 산소가 부족하거나 없는 혼합기체를 흡입하여 일어나는 사망은 다음의 4가지 상황으로 나타날 수 있다. 먼저, (1) 자기색정형(autoerotic) 질식으로, 산소결핍은 성욕을 자극한다. (2) 부식된 수조, 터널, 광산처럼 산소가 적은 공기가 있는

곳이나, 실험실이나 화산 분화구처럼 다른 무독성 기체에 의해 산소가 일부 또는 전부 대체된 곳에 뜻하지 않게 들어가는 경우이다. (3) 깊은 잠수 시 감압 과정에서 다이버가 실수로 산소가 적은 기체를 호흡하는 경우이다. 그리고 마지막으로, (4) 질소, 헬륨 등의 불활성 기체를 스스로 호흡하는 자살 시도이다 [4]. 본 증례의 경우는 무독성 기체에 의해 산소가 대체된 경우로 분류할 수 있다.

산소 농도에 따른 산소결핍의 증상은 다음과 같다. 15%–19.5%에서는 작업능력 저하, 심장동맥, 폐, 순환에 이상을 지닌 사람들에서 초기 증상이 나타날 수 있다. 12%–15%에서는 맥박과 호흡의 증가, 인지와 판단 장애가 나타나고, 10%–12%에서는 어지러움, 청색 입술 등을 보인다. 8%–10%에서는 구역, 구토, 실신, 의식소실 등이 나타나고, 6%–8%에서는 8분간 노출 시 모두 사망, 6분간 노출 시 절반 사망, 4–5분간 노출 시 회복이 가능하며, 6% 미만에서는 혼수(40초 이내), 경련, 호흡 정지, 사망 등이 나타난다(Table 1) [5]. 공기 중의 정상 산소농도는 21%이다. 사망은 수초에서 수분 이내에 일어날 수 있는데, 이것은 산소의 농도뿐 아니라, 산소가 감소하는 속도에 따라서도 결정된다. 그러므로, 산소가 없을 때는 2–3분 이내에 질식될 수 있고, 산소가 점진적으로 감소될 때는 지연되어 20–25분 이내에 질식되며, 산소 농도가 20%이고, 다른 해로운 기체가 존재할 때는 60분까지도 질식이 지연될 수 있다[1]. 본 증례에서는 현장 기체의 산소 농도가 최소 3.5%까지 측정되어 6% 미만이므로, 변사자가 교반기 뚜껑을 열고 작업을 시작한 후, 짧은 시간 내에 의식을 잃고 쓰러졌고, 머리가 저산소 기체에 계속 노출되어 사망까지 진행되었을 것으로 추정된다.

질식 기체에 의한 사망은 기체의 독성 때문이 아니라, 호흡한 혼합기체에서 산소가 대체되면서 일어날 수 있다[4]. 이런 경우에 부검에서 특이 소견을 볼 수 없으므로, 사인의 결정이 어렵게 된다. 장기울혈, 점출혈, 청색증, 유동혈액은 질식사에서 볼 수 있는 비특이적인 소견으로, 이들은 다른 사인들에서도 나타날 수 있다[1]. 눈꺼풀결막의 점출혈의 경우, 보통 액

사, 교사, 비전형적 의사, 압착성 질식에서 나타나지만, 급성 심장사에서도 볼 수 있으며, 심지어는 사망 후 머리를 아래로 위치한 경우에도 나타날 수 있는데, 이런 경우에는 형태적으로, 생전 점출혈과 구분할 수 없다[6]. 한편, 혈액의 독성학적 검사에서, 이들 기체가 혈액의 정상 성분인 경우가 많으므로, 사인의 내력이 사인을 밝히는 데 필수적이다[1]. 이번 증례에서도 눈꺼풀결막 점출혈, 장기 울혈, 암적색 유동혈액 등 질식사의 비특이적인 소견을 볼 수 있었으나, 부검 소견만으로는 사인을 단정하기 어려웠고, 현장 기체 분석을 통해 교반기 안의 산소 농도가, 질소를 투입한 후 3.7%까지 낮아짐을 확인함으로써 사인을 결정할 수 있었다.

질소에 의한 사망은, 스쿠버 다이빙, 산업체, 실험실, 마취, 병원의 자기공명영상장치 설치 등의 상황에서, 사고사와 비전형적인 자기색정형질식사 등으로 보고되었다[1]. 국내에서는 1건의 기화된 액체질소에 의한 질식이 보고되었다. 희생자는 27세의 남자 대학원생으로, 지하의 건조한 공간에서 쓰러진 채 발견되었다. 그 공간에는 밸브가 열린 액체질소 원통(150 L)에서 구리관으로 연결된 뚜껑이 열린 플라스크(10 L)가 있었다. 변사자에 대한 부검에서 눈꺼풀결막과 눈주위 피부의 점출혈, 암적색 유동혈액, 장기 울혈, 기관과 기도 내강에서 흰색 거품 등이 관찰되었고, 특기할 손상이나 병변은 확인되지 않았다. 현장을 재현하여 시행한 기체분석 결과, 산소농도는 3분 10초에 12.0%, 8분 53초에 10.0%, 18분 40초에 6.0%, 20분 28초에 6.0%였다[7]. 본 저자의 증례와 유사한 점이 많으나, 이 증례에서는 변사자가 한정된 공간 내에서 작업 중 몸 전체가 기체 질소에 노출되었다. 반면, 본 저자의 증례에서는 변사자가 상대적으로 개방된 곳에서 작업 중, 변사자의 머리 또는 상체 일부만이 교반기 안에 있던 기체 질소에 노출되었던 것으로 추정된다. 한편, 스쿠버 다이버들에게 기체질소는 위험할 수 있는데, 깊은 곳에서 기체 질소가 압력 증가로 인해 혈장과 조직에 더 많이 용해되어, 질소 마취를 일으킬 수 있다. 이것은 술에 취한 것과 비슷하게 방향감각 상실과 판단 장애를 일으켜 의사를 초래할 수 있다[8]. 사고사뿐 아니라, 기체 질소를 이용한 자살 사례들도 보고되었는데, 희생자들은 얼굴을 폐쇄할 수 있는 비닐가방이나 잠수 마스크 등을 질소 통에 연결해 호흡하였다[1,4,8].

질소 등에 의한 산소결핍성 질식의 경우, 부검 시 진단적인 소견을 보지 못하므로, 현장 상황과 현장 기체 분석이 사인 결정에 매우 중요하다. 만약, 부검 시 산소결핍성 질식의 가능성을 간과하고, 사인이 내인사로 잘못 진단될 경우, 변사자를 대체하는 다음 사람이 동일한 기전으로 사망할 수 있으므로 산소결핍성 질식의 가능성이 있는 경우에는 반드시 현장 기체분석 등 추가적인 검사를 통해 사인을 정확히 진단하는 노력이 필요하다.

Table 1. Effect of oxygen deficiency

Oxygen (%)	Effect of deficiency
15–19.5	Decreased ability to perform work
12–15	Increased pulse rate and respiration, impaired perception and judgment
10–12	Further increase in pulse and respiration, giddiness, poor judgement, blue lips
8–10	Mental failure, nausea, fainting, vomiting, unconsciousness
6–8	8 min, 100% fatalities; 6 min, 50% fatalities; 4–5 min, recovery expected
<6	Coma in 40 sec, convulsions, breathing stops, death

Conflicts of Interest

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

References

1. Madentzoglou MS, Kastanaki AE, Nathena D, et al. Nitrogen-plastic bag suicide: a case report. *Am J Forensic Med Pathol* 2013;34:311-4.
2. Tur FC, Aksay E. Asphyxia due to accidental nitrogen gas inhalation: a case report. *Hong Kong J Emerg Med* 2012;19:46-8.
3. US Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Hazards of nitrogen asphyxiation. Washington, DC: U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board; 2003.
4. Straka L, Novomesky F, Gavel A, et al. Suicidal nitrogen inhalation by use of scuba full-face diving mask. *J Forensic Sci* 2013;58:1384-7.
5. Yanisko P, Croll D. Use nitrogen safely. Allentown, PA: Air Products; 2012.
6. Puschel K, Turk E, Lach H. Asphyxia-related deaths. *Forensic Sci Int* 2004;144:211-4.
7. Kim DH, Lee HJ. Evaporated liquid nitrogen-induced asphyxia: a case report. *J Korean Med Sci* 2008;23:163-5.
8. Harding BE, Wolf BC. Case report of suicide by inhalation of nitrogen gas. *Am J Forensic Med Pathol* 2008;29:235-7.