

건설현장에서의 산소결핍 사고 방지

1. 개요

건설공사에서 산소결핍에 의한 재해는 1961년 정부에서 본격화하여 1969년과 72년에 다발, 그 후 점차로 감소추세를 보이고 있으나 여전히 산발하고 있는 상태이다.

건설공사의 모든 중대재해에 의한 사망률이 15% 전후인 것에 비해, 산소결핍사고에 의한 것은 40~50%로 높은 비율을 보이고 있다. 더욱이, 산소결핍 현상은 시각이나 후각으로는 알 수 없는 것이기 때문에 공사현장 기술자의 지식이 없으면 더 많은 희생자를 내게 될 수 있다. 또한 산소결핍 사고는 제3자인 일반시민에게도 침범하는 일이 있어 심각한 사회문제가 되었다.

2. 산소결핍증이란?

공기 중의 산소농도는 정상시의 경우 20.95%이고, 인간은 이 공기를 호흡하며 생명을 유지하고 있다. 즉, 1기압에 $760\text{mmHg} \times 20.95\% \approx 160\text{mmHg}$ 압력의 산소를 섭취하여, 폐포에서 복잡한 경로를 거쳐 혈액으로 들어가고, 다시 각각의 세포내로 들어가게 된다.

뇌세포는 인체 중에서도 가장 산소 소비량이 큰 장기이고, 산소공급이 불충분할 때는, 순간적으로 그 기능에 장애가 나타난다.

산소결핍증은 산소의 농도 및 산소결핍공기의

섭취시간에 따라 다르며, 증세는 안면이 창백해지고, 맥박 및 호흡수가 증가하며, 현기증, 구토, 두통 외에도 중증일 경우는 실신, 경련, 호흡정지 또는 심장정지 상태가 된다.

〈표 1〉 산소농도가 인체에 미치는 영향
(Henderson & Haggard의 농도 분류)

산소농도(%)	인체에 미치는 영향(산소결핍 증상)
12~16	맥박 · 호흡수의 증가, 정신집중 곤란, 메스꺼움, 두통, 귀울림
9~14	판단력 · 기억력의 약화, 멍한 상태, 체온상승, 전신 무기력
5~10	의식불명, 중추신경 장애, 경련6 이하혼수, 호흡정지, 심장정지

3. 산소결핍의 위험성

가. 무산소 1회 호흡의 위험성

산소 결핍 재해 중에서 환기 불량이 폐쇄적 공간이 아니더라도, 무산소 공기의 1회 호흡이 파국을 초래하는 경우가 적지 않다.

무산소 공기에 순간적으로 노출될 때 숨을 쉬면, 호흡중추를 극단적으로 자극하여 흥광이 확장되면서 무산소 공기를 토출하는 동작이 불가능하게 된다. 이때 폐 안에 산소는 더욱 부족해지고 부족한 산소는 모세혈관을 통해 뇌로 올라간다. 산소를 대량 소비하는 뇌는 그 순간 활동을 지지하는 산소분압이 급격히 떨어지기 때문에 즉각적인 기능정지상태가 된다. 이 때 시간은 무산소 흡입 후

2초 이내에 발생된다.

나. 소생의 한계와 후유증

중증의 산소결핍에서 뇌세포는 재생불가능한 상태로 파괴되어 목숨을 잃게 된다. 이때 그 파괴가 대뇌 피질에 나타나기 시작한 단계에서 응급처치에 의한 생명유지가 성공하더라도, 즉각적인 의식 회복이 곤란하게 된다. 따라서 파괴의 정도가 심하지 않은 경우에도 후유증을 유발할 수 있다.

다. 산소분압과 기압의 관계

산소분압(mmHg)은 기압과 산소농도(%)의 곱으로 나타내는데, 동일한 산소 농도에서 산소의 분압은 기압에 비례하게 된다. 갈바니전지 방식의 산소농도계에 나타나는 지시치는 산소가 폐에서 체내에 들어가는 것과 같이 산소분압에 비례한다.

4. 산소결핍 발생장소와 그 원인

가. 산소결핍 위험작업의 종류

- (1) 지층에 접하거나 통하는 우물, 수직갱, 터널, 잠함, 피트 등의 내부
- (2) 장기간 사용하지 않은 우물 등의 내부
- (3) 케이블, 가스관 또는 지하에 부설되어 있는 매설물을 수용하기 위하여 지하에 부설한 암거·맨홀 또는 피트 내부
- (4) 빗물·하천의 유수·용수가 체류하거나 체류하였던 통·암거·맨홀 또는 피트의 내부
- (5) 해수가 체류하고 있거나 체류하였던 암거·맨홀 또는 피트 내부
- (6) 장기간 밀폐된 강재의 보일러 탱크, 반응탑 등의 내부
- (7) 천장·바닥 또는 벽에 건성유 페인트 도장으로 건조되기 전에 밀폐된 지하실 창고 또는 탱크 등 통풍이 불충분한 시설의 내부

(8) 분뇨·썩은 물 기타 부패하거나 분해되기 쉬운 물질이 들어 있는 정화조·탱크·암거·맨홀·피트의 내부

(9) 불활성의 기체가 들어있거나, 들어있었던 보일러·탱크 또는 반응탑 등 시설의 내부

나. 일반적인 산소결핍 원인

산소결핍사고사례를 보면, 공통된 원인으로 다음 사항을 들 수 있다.

- (1) 환기를 하지 않았거나 충분치 못했을 때
- (2) 측정하지 않은 상태에서 산소결핍장소에 들어갔을 때
- (3) 산소결핍 위험이 있는 곳에서 공기호흡기 등 보호장구를 착용하지 않았을 때
- (4) 구조자가 공기호흡기를 사용하지 않았을 때
- (5) 압기작업으로 적정기압의 유지·관리가 되어있지 않을 때
- (6) 관계자가 산소결핍에 대하여 충분한 지식을 갖고 있지 않을 때

또한, 산소결핍 사고로 이어질 수 있는 근원적인 원인으로는 다음과 같이 구분할 수 있다.

- (1) 공기 중의 산소비
- (2) 산소함유물이 적은 공기 분출
- (3) 공기 이외의 기체(메탄, 질소, 탄산가스 등)에 의한 치환

이중, 건설공사에서 산소 함유량이 적은 공기의 분출이 가장 문제가 되며, 분출방법은 다음 4가지 유형이 있다.

(1) 역류

뉴우매틱케이션(Pneumatic Caisson)이나 공기 실드(Shield) 등의 압기공법에 의해 압력이 가해진 공기는 사력층의 간극에 침입한다. 이 토층에 존재하는 제일철염류는 침입한 산소와 반응하

여 산화되기 때문에, 산소가 소비되고 공기는 무산소화 된다. 이때, 정전이나 콤프레셔(Compressor)의 고장으로 송기가 정지되면, 압기구내는 감압되고, 사력층 내에 압입되어 있던 무산소공기가 역류하여 구내는 산소결핍상태가 된다.

(2) 관류

뉴우매딕케이슨(Pneumatic Caisson), 압기실드(Shield) 또는 오픈 케이슨(Open Caisson) 등에 의해 굴착할 때, 상부에 부투수층이 있는 불포화사력층에 도달하면, 동지층에서 별도로 압기공법을 실시하고 있는 작업장이 있을 때, 양쪽 작업장소가 사력층을 통하여 공기유통이 가능하게 되고, 산소결핍공기가 압력이 낮은 쪽으로 분출되어 나온다.

(3) 지층내 매몰공기의 용출

압기공법에 의해 불투수층 아래에 사력층에 남아있던 공기가, 공사종료 후에도 땅속에 매몰되어 산소결핍공기가 된다.

이후에 이 지점에서 굴착공사를 하고, 굴착심도가 이 산소결핍공기층에 이르렀을 때, 작업장소의 공기압이 거기에 남아 있는 산소결핍공기의 압력보다 낮으면 작업장소에서 산소결핍공기가 분출된다.

이전에 압기공법이 행해진 지점의 주변에는 산소결핍공기의 분출위험이 있으므로 늘 경계할 필요가 있다.

(4) 저기압시의 용출

지하에 남아 있는 산소결핍공기 또는 지하수 중에 용해되어 있는 산소결핍공기는 대기압과 평형상태일 경우 정지해 있지만 저기압이 되면 평형상태가 깨지고 팽창하여 기초 갱내부나 우물 등에서 용출해 나오는 일이 있다.

실제로, 빌딩의 기초 갱내부의 산소농도 측정치는 대기압 1016mb에서 1005mb까지의 변화에 대

해서 약 20%에서 6%로 저하한다.

5. 산소결핍사고 예방대책

가. 산소결핍 조사

지하공사를 할 때는 산소결핍상태의 발생 가능성 여부를 사전에 충분히 조사해야 하며, 사전 조사는 다음과 같이 실시한다.

- (1) 상층에 점토질층 같은 부투수층이 있는 사력층에 대한 지하수 상황
- (2) 대상지층의 환원성의 정도
- (3) 지하수위의 변동상황
- (4) 현장부근(반경 1km 정도)에서의 압기공사 유무(과거와 현재)
- (5) 현장부근의 산소결핍 사고 사례 유무
- (6) 현장부근에서의 메탄가스, 이산화탄소, 산소결핍 공기발생 유무
- (7) 부이층의 유무

특히, (2)항목에 관해서는 지반의 산화환원전위(Eh)를 직접 측정하기가 곤란하기 때문에, 간극수의 산화환원전위(전위), 용대산소량(Do), 용해성철 및 망간 등의 환원상태를 나타내는 수질을 통하여 간접적으로 파악하게 된다. 그리고 실제로 지반에 공기를 통하게 하여 산소결핍의 정도를 조사하는 현지투기시험도 많이 이용되는 방법이다.

나. 산소결핍사고 방지대책

(1) 충분한 환기

지하공사를 할 경우 환기는 산소결핍 사고방지를 위해 가장 중요한 대책이다. 압기구내에 어떠한 요인에 의해 산소농도가 저하되더라도 환기를 충분히 한다면 안전한 산소농도를 유지할 수 있다. 통상, 압기구내에 작업자들을 출입시키기 전에 그 기적의 5배 이상의 신선한 공기를 보내어 환기를 한다.

그 후 측정을 통해 산소농도가 18%이상임을 확인 후 작업자들을 출입시키고, 작업 중에도 항상 산소농가 18%이상 유지되도록 송기를 계속한다.

송기량은 1인당 10m³/min 이상으로 하는데, 작업원이 4명 이하인 경우라도 50m³/min 이상의 송기량을 확보하도록 한다. 피트내의 환기는 가능한 균일하도록 주의하고, 20회 이상 환기할 수 있도록 신선한 공기를 송기해야 한다.

(2) 빈번한 산소농도 측정

환기를 하면, 산소농도를 측정하여 안전성을 확인한 후 작업장에 들어가도록 한다. 측정은 산소결핍 위험작업 관리감독자가 실시한다.

(3) 보호장구 착용 및 설치

산소 결핍사고를 방지하기 위한 보호구로는 공기호흡기, 산소호흡기 등의 호흡용 보호기구와 전락방지용 안전대, 구명색 등이 있고, 이것은 JIS에 의해 구조와 성능이 규정되어 있다.

폭발 또는 산화 방지차원에서 환기가 불가능한 경우, 또는 환기, 산소측정이 곤란한 경우 및 산소결핍사고로 작업자를 구출할 경우는 반드시 공기호흡기 등의 호흡용 보호기구를 착용해야 한다.

수갱, 맨홀, 심초 등 사다리를 이용하여 내려갈 경우, 또는 전도의 위험이 있는 곳에서는 산소결핍공기를 호흡하여 비틀거리다 추락하지 않도록 구명줄을 착용한다.

(4) 산소결핍에 대한 충분한 교육

현장관계자가 산소결핍에 대한 지식이 부족하여 발생하는 사고를 방지하기 위해서 산소결핍에 관한 기초지식, 공기호흡기 등의 보호기의 사용방법, 구급법 등에 대하여 충분히 교육한다.

(5) 인원 점검

산소결핍 위험작업 근로자는 입·출입시 반드시 인원을 점검하여 인원의 차이가 있을 경우 산소결핍 등 불의의 사고를 예상하고 신속한 응급조

치 체제를 취해야 한다.

(6) 관계 근로자 외 출입금지

산소결핍 위험작업에 종사하는 근로자 이외의 작업자 또는 외부인의 출입을 금지하며, 그 내용을 게시하는 등 출입 통제를 철저히 한다.

(7) 연락설비 설치

산소결핍위험작업장과 외부의 관리감독자 사이에 상시 연락을 취할 수 있는 설비(유선설비, 무선기 등) 등을 설치한다.

(8) 산소결핍 우려시 대피

산소결핍 우려가 있을 때에는 즉시 작업을 중단시키고 근로자를 대피시킨다.

(9) 대피용 기구의 비치

공기호흡기, 사다리 및 섬유로프 등 비상시 근로자를 피난·구출하기 위하여 필요한 기구를 비치한다.

(10) 안전담당자 배치

안전담당자는 근로자가 산소 결핍된 공기를 호흡하지 않도록 작업시작 전에 작업방법 결정 및 작업지휘를 하고, 작업장소의 공기 중 산소농도를 작업시작 전에 측정한다. 또한, 산소농도측정기구·환기장치 또는 공기호흡기 등의 기구, 설비를 작업시작 전에 점검하고, 근로자에게 공기호흡기 등 호흡용 보호구 착용을 지도 감독한다.

(11) 감시인 배치

감시인은 산소결핍위험작업시 근로자의 상시작업상황을 감시하고, 이상이 있을 경우 즉시 안전담당자, 관리감독자에게 통하여 신속한 조치를 취할 수 있도록 한다.

(12) 의사의 진찰

산소결핍증에 걸린 근로자에 대해서는 즉시 응급조치 및 의사의 진찰을 받도록 한다. 