



「폐수처리장」에서의 질식재해 발생사례(2)

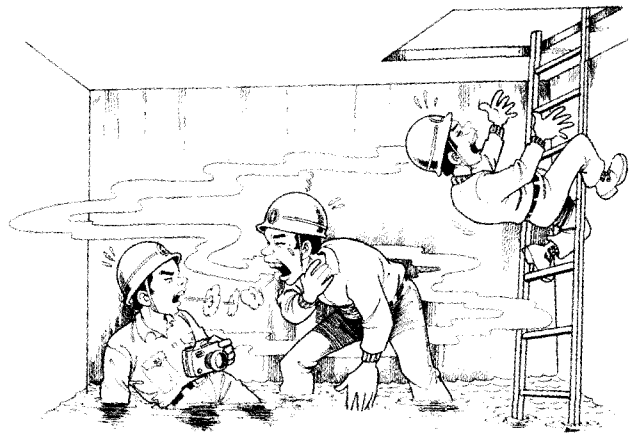
- 폐수처리장 처리수조 내부작업중 황화수소에 의한 질식 -

우리 환경인들의 삶의 터전인 현장에는 많은 유해·위험요인들이 상존하고 있으나 이를 간과하거나 무시하고 지나쳐버림으로써 돌이킬 수 없는 중대재해가 빈번히 발생하고 있습니다. 이에 본지는 최근 발생된 환경오염방지시설관련 재해사례를 알려드림으로써 발생가능한 재해를 사전예방하고 회원 여러분들의 소중한 생명을 보호코자 합니다. [편집자 주]

1. 재해개요

- 가. 발생일자: 2001. 4. 30(월) 17:30경
- 나. 소재지: 충북 음성군 ○○읍
- 다. 사업장: ○○음성 ○○가공공장
- 라. 피해자: 폐수처리담당자A, 전기담당자
- 마. 사고유형: H₂S 등 유해가스에 질식
- 바. 피해정도: 사망 2명
- 사. 발생개요

○가공공장의 지하1층 폐수처리장 처리수조 내의 수위레벨센서 조정작업을 하기 위해 수직 사다리를 이용하여 처리수조 내부에 들어가 작업하던중 전기 및 폐수처리담당자가 익사한 상태로 발견된 재해임.



2. 재해발생경위

· 사고당일 오전 11시경 피해자(전기담당자, 폐수처리담당자A) 2명이 지하1층 폐수처리장 처리수조(가로 7.7 m

× 세로 3.6 m × 높이 4.5 m) 내부에 설치되어 있는 수위 레벨센서 조정작업을 하기 위해 수조 밀폐덮개를 열고(가로 0.7 m × 세로 1.3 m) 수직 사다리를 이용하여 내부로 들어가 사다리 중간(수조 밑면으로부터 2.0~2.5m) 위치



에서 작업을 수행함.

※ 처리수조 내부에는 수심 2m 정도의 처리수가 들어 있었으며, Blower로 처리폐수에 공기를 지속적으로 공급해주고 있는 상태였음.

· 14:30경 근무교대자인 폐수처리담당자 B가 출근하여 동료 근무자가 폐수처리장에 없음을 확인하고 소재 파악을 요청함.

· 14:30~17:00경 사무실 근무를 하고 있던 폐수처리담당 기사가 피재자 2명에 대한 소재파악을 하던 중 지하1층 폐수처리장 처리수조 주변에 수공구가 있는 것을 발견하고 처리수조 내부의 작업상황을 살펴보고 익사 등의 의심이 가 폐수를 제거코자 함.

· 17:00~17:30경 수중모터를 이용하여 수심 2m의 처리수조 폐수를 펌핑한 결과 피재자 2명을 물 속에서 발견함.

· 피재자를 인양하여 18:00경 병원으로 사체를 후송함.

※ 폐수처리방법

폐수입고 → 스크린 → 집수조 → 부상조 → 처리수조
(1차처리수)

→ 공단 폐수종말처리장으로 보냄

※ 사고발생 처리수조

- 크기 : 가로 7.7 m × 세로 3.6 m × 높이 4.5 m
- 덮개 : 가로 70 cm × 세로 130 cm

3. 재해발생원인

· 처리수조 내부의 폐수에서 황화수소(H₂S), 메탄(CH₄) 등의 유해가스가 발생되고 있었으나, 유해가스를 측정하지 않고 작업을 수행함.

※ 공무원 직원의 진술에 의하면 동 사업장에서는 산소농도 측정을 하기 위해 양초에 불을 붙여서 촛불 상태를 보고 업자가 임의적으로 판단하는 식으로 하여왔음.

※ 조사당시 측정결과

산소 : 20.5~20.7%, H₂S : 35~38.0 ppm,

CH₄ : 0.1~0.2%

· 산소결핍 위험장소에서 작업을 수행할 경우에는 호흡용 보호구나 공기호흡기를 착용하고, 추락할 우려가 있는 때에는 안전대를 착용하고 작업에 임해야 하나 미착용 상태로 작업하였음.

· 유해가스 발생 및 산소결핍 위험장소 작업 근로자에 대한 특별안전보건교육을 미 실시함.

· 산업보건기준에 관한 규칙 제24조에 의하여 황화수소(H₂S) 10 ppm을 초과하는 장소에는 관계 근로자의 출입을 금지시키고, 보기 쉬운 곳에 출입금지 표지를 부착해야 하나 이를 부착하지 않았음.

4. 통중재해예방대책

· 산소결핍이나 유해가스 등에 의한 중독이 예상되는 작업에 대하여는 사전에 산소농도나 유해가스물질의 노출 농도를 측정한 후 산소농도가 18 % 이상, 유해물질의 농도가 TLV-TWA 이하인 경우에 작업을 수행토록 해야 함.

※ 참조(H₂S : TWA 10 ppm, STEL 15 ppm)

· 산소결핍위험장소 및 유해가스 발생장소 작업시 호흡용 보호구를 착용하고 추락위험이 있는 경우에는 안전대 등을 착용하고 작업을 실시해야 함.

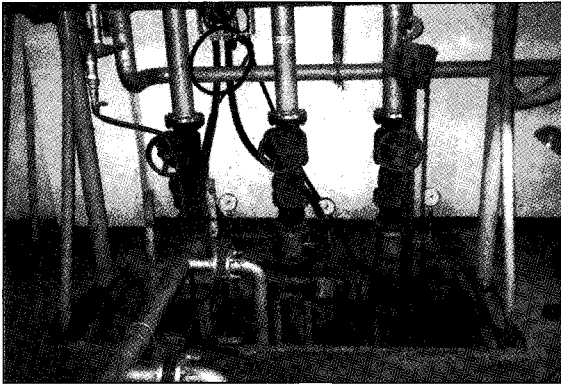
※ 호흡용 보호구 : 공기호흡기, 산소호흡기, 송기마스크

· 산소결핍 및 유해가스 발생위험이 있는 장소에서의 작업 시에는 근로자의 안전을 위하여 작업전에 유해가스 및 산소농도측정요령, 작업시 주의사항, 산소결핍의 위험요인, 산소결핍의 원인 및 대피방법, 응급처치, 보호구 사용방법 등이 포함된 특별안전보건교육을 실시해야 함.

· 산소결핍 위험장소 및 유해가스 발생장소에 관계 근로자 외의 출입을 금지토록 하고 출입금지 표지판을 보기쉬운 장소에 게시해야 함.



현장사진



[폐수처리장 처리수조 입구]



[폐수처리장 처리수조]

재해예방상식

■ 산소결핍에 의한 건강장해 ■

1. 산소부족과 생체반응

산소가 부족한 상태에 있는 인체의 세포내에서는 젖산(lactic acid)의 생성량이 증가하므로 혈액은 산성으로 기울게 된다. 이로 인하여 호흡중추나 심장중추 등이 자극을 받게 되고 호흡심도와 호흡수 및 심박수 등이 증가하게 되어

산소농도가 낮은 폐내공기를 보다 많이 호흡하여 산소섭취량을 보충하게 된다. 또한 산소함유량이 적은 혈액을 다량으로 순환시키므로 뇌의 혈관은 확장되어 다량의 혈액을 받아들이게 된다.

따라서 여러 가지의 보완기능이 동원된다. 그러나 이의 한계는 공기중의 산소농도가 16% 이상인 경우이고, 16% 이하로 되면 여러 가지 보완기능이 작용하지 않으므로 산소결핍증상이 현저하게 된다.

고산지방에 오랫동안 체류하게 되면 서서히 적혈구수나 헤모글로빈량이 증가하고 세포의 산소이용률을 높이는 산소의 작용이 활발하게 되어 폐활량의 증대와 같은 고도의 순응현상이 나타나서 저산소환경을 이겨나갈 수 있게 된다. 예로써 해발 8,848m의 에베레스트 정상에 산소분압을 환산하여 보면 산소농도가 지상의 7%정도밖에 되지 않는다.

그러므로 별도의 산소흡입을 하지 않으면 10분 정도의 시간내에 사망하게 되지만, 산소마스크 없이도 등정하고 있는 등정대원을 때때로 볼 수 있다. 이러한 현상은 등정대원인 산의 중턱에서부터 서서히 장기간에 걸쳐서 올라가므로 높은 곳에 오랫동안 체류하는 결과가 되어 고도순응이 이루어졌기 때문이다. 일반적으로 고도순응에 필요한 체류시간은 3주 정도이다.

산소부족에 대해 가장 민감한 반응을 나타내는 것은 최대의 산소 소비소인 뇌의 대뇌피질이다. 대뇌피질은 사람에게 있어서 최고로 발달되어 있긴 하지만, 이것이 산소결핍에 대하여는 가장 취약한 요인으로 작용하게 된다. 따라서 사람의 대뇌피질이 산소결핍에 가장 민감한 기관인 것이다.

산소결핍의 증상을 보면, 먼저 대뇌피질의 기능저하로부터 시작되고, 결국은 대뇌피질의 세포가 파괴되어 대뇌피질의 기능이 상실되는 단계를 거쳐서 뇌세포 전체가 파괴되어 사망하게 되는 증상이라고 할 수 있다.

2. 급성 산소결핍증

평지에 위치한 작업환경중에서 발생하는 산소결핍은 대부



분의 급성적인 저 산소폭로이므로 예기치 않은 돌발사태로 전개되며 근로자들은 작업중에 여러 가지 농도의 저 산소환경과 직면하게 된다. 산소결핍증상이 나타나는 산소의 농도는 사람에 따라 큰 차이가 있어 개인차가 클 뿐만 아니라 개인의 건강상태에 따라서도 달라지게 된다. 일반적으로 산소부족으로 인한 자각증상은 산소농도 16% 정도에서 나타나기 시작하고 산소가 16% 이하로 낮아질수록 증상은 심해지게 되어 산소농도 10% 이하에서는 사망의 위험이 발생하게 된다.

표2-1은 Henderson 이 산소농도의 증상과의 관계를 대략 4단계로 분류하여 나타낸 것이며, 이러한 증상은 노동중이거나 피로할 때 혹은 숙취등의 경우에 중증화 되며 빈혈이나 순환기 장애를 갖고 있는 사람은 제2단계 정도에서의 치명적인 상태로 될 수 있다.

작업환경에 따라서는 산소농도가 별로 낮지 않아도 근력저하에 의한 육체의 지지 불능이나 현기증에 의한 추락이나 전락 및 익사 등이 발생되기도 한다. 또한 대뇌기능의 저하에 의한 착각이나 오조작 및 실족 등 큰 사고가 발생할 가능성도 있으므로

〈표2-1〉 산소농도의 저하에 따른 산소결핍증의 증상

단계	공 기		동맥혈		증상
	산소농도(%)	산소분압(mmHg)	산소포화도(%)	산소분압(mmHg)	
1	12~16	90~120	85~89	45~60	맥박증가, 호흡수증가, 정신집중력의 저하, 계산착오, 세심한 근육작업의 약화, 두통, 귀울림, 메스꺼움
2	9~14	68~105	74~85	40~45	판단력저하, 발양상태, 불안정한 정신상태, 상처의 통증이 없어짐, 멍정상태, 귀울림, 메스꺼움, 기억상실, 전신발진, 체온상승, 안면창백, 의식몽롱
3	6~10	45~70	33~74	20~40	의식상실, 혼도, 중추신경장애, 혈떡거림, 안면창백, 전신근육의 경련
4	6이하	45이하	33이하	20이하	실신이나 혼수 및 호흡속도 저하→호흡정지→심장정지

* Henderson 과 Haggard의농도 분류임

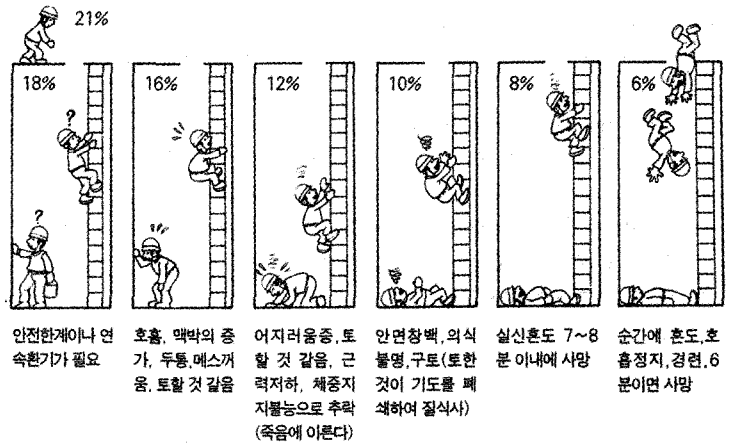
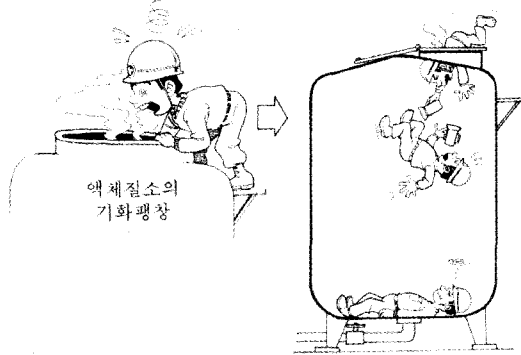


그림 2-1] 산소결핍에 대한 사람의 반응



[그림 3-1] 질소 충전조내로 떨어질 위험성 (팽창분출하는 질소에 휘말려서 떨어짐)

충분히 고려해야 한다. 산소결핍증의 한 증상으로 토기나 구토를 들고 있는데, 구토시에 고개를 위로 젖힌 상태에서 토사물이 기관지내로 흡인되어 질식사하기도 하며 얼어서 고인물을 폐내로 흡인하여 죽게 되는 일종의 익사가 되는 경우도 있다.

산소결핍에 대한 인간의 반응을 도해하면 그림 2-1과 같으며 산소가 60%인 극단적인 저농도에서는 이러한 공기를 단 1회만 호흡하여도 실신하여 높은 곳에서 아래로 떨어져 죽게 될 수도 있다.

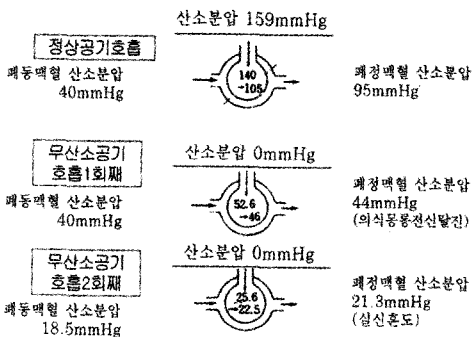


3. 무산소공기의 1회 호흡의 위험성

산소결핍에 의한 재해중에는 환기가 불량한 폐쇄적인 공간에서 뿐만 아니라 무산소 공기를 한번만 호흡하여도 큰 재해를 당하는 경우가 적지 않다. 그림 3-1과 같이 가연성 가스를 질소로 치환한 후에 탱크의 내부를 점검하면서 질식하여 탱크내부로 떨어지는 사고가 종종 발생되고 있다.

무산소공기를 갑자기 호흡하게 되면 호흡중추를 자극하여 흥분확장이 일어나게 되어 무산소공기를 다시 뱉어내는 동작이 불가능하게 된다. 따라서 폐 가운데 남아있던 산소는 무산소공기에 의하여 점차로 희석되어 폐내의 산소분압이 저하하고 폐안의 모세혈관내의 혈중 산소분압은 상승하지 않고 그대로 뇌로 이송한다. 산소를 항상 다량으로 소비하고 있는 뇌는 이 순간에 바로 뇌의 활동을 지탱하는 산소분압을 상실하게 되어 활동저하 또는 활동정지를 일으키게 된다. 이러한 반응은 산소공기를 흡입한 후 2초 이내에 일어나게 된다.

무산소 공기를 호흡한 경우에 있어서 폐포와 폐정맥혈의 산소분압변화를 동물실험을 통해 얻은 결과를 사람에게 적용하여 평가한 결과를 보면 그림 3-2와 같다.

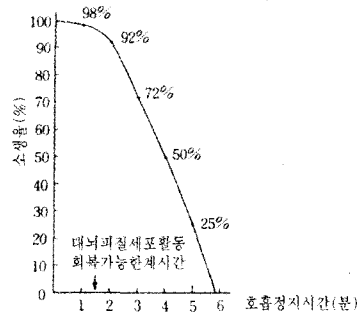


[그림 3-2] 무산소공기호흡에 의한 위험성

무산소공기의 1회 호흡에서도 폐정맥혈의 산소분압은 40mmHg 정도로 저하하고, 이러한 피의 흐름은 1초 이내로 뇌에 도달된다. 이때의 산소분압은 뇌의 활동을 지탱하는

60mmHg의 분압보다 훨씬 낮은 것이다. 호흡의 억제시에 대비하여 미리 폐내에는 6ℓ 정도의 공기가 저장되어 있으므로 혈중의 산소분압 저하는 급격하게 일어나지는 않는다.

산소결핍증이 심하게 되면 뇌세포가 재생불능의 상태로 파괴되므로 이러한 파괴가 대뇌피질에서 시작된 단체에서는 구급처치에 의한 생명유지가 성공할 수 있다고 하여도 의식의 회복은 곤란하게 된다. 이와 같이 파괴의 정도가 가벼운 경우라 할지라도 여러 가지의 후유증이 남게 된다. 무호흡의 상태에서부터 인공호흡 등에 의하여 호흡이 다시 시작된 경우라 할지라도, 호흡 재개까지의 경과시간이 길면 길수록 소생력은 가속적으로 저하된다. 그림 4-3-3에서 보는 바와 같이 호흡정지시간이 6분 이상이 되면 소생은 가망없게 된다. 소생 한계내에서 구조된 경우에는 후유증으로 언어장애, 운동장애, 시야협착, 마취, 환각, 건망증, 성격 이상 및 노이로제 등의 증상이 남게 될 우려가 있으므로 사후의 관리가 필요하다. 이러한 후유증은 10~12%의 저산소공기에 장기간동안 폭로되는 경우에도 잔존하게 될 가능성이 있다. 산소결핍증에서는 뇌의 부종이 급격하게 발생되고, 의식이 회복된 후에도 지속되며, 이것이 뇌혈관의 압박을 가져오고 뇌의 활동을 저해하며, 후유증을 가속적으로 악화시키게 된다. 그러므로 의식이 회복된 후에도 상반신을 높게 하여 안정상태를 유지하고 뇌부종을 완화시킬 약제의 투여도 계속해야 할 필요성이 있다.



[그림 3-3] 산소결핍증에서의 호흡정지 시간과 소생률과의 관계

[자료제공 : 한국산업안전공단]