



「폐수처리장」에서의 질식재해 발생사례

- 집수조 수중펌프 사용작업중 유해가스에 질식사망 -

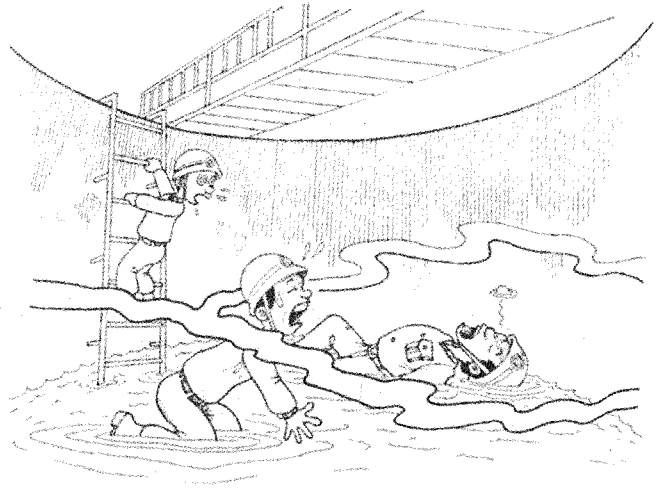
우리 환경인들의 삶의 터전인 현장에는 많은 유해·위험요인들이 상존하고 있으나 이를 간과하거나 무시하고 지나쳐버림으로써 돌이킬 수 없는 중대재해가 빈번히 발생하고 있다. 이에 본지는 최근 발생된 환경오염방지시설관련 재해사례를 지속적으로 게재, 발생가능한 재해를 사전예방하고 회원 여러분들의 소중한 생명을 보호코자 한다.

[편집자 주]

1. 재해개요

- 가. 발생일자 : 2001. 8. 4(토) 14:00경
- 나. 소재지 : 인천광역시 남동구 ○○동
- 다. 사업장 : ㈜도금
- 라. 피해자 : 김○○ (27세, 대기환경기사),
강○○ (27세, 수질환경기사),
노○○ (26세, 전기기사)
- 마. 사고유형 : H₂S 등 유해가스에 질식
- 바. 피해정도 : 사망 3명
- 사. 발생개요

폐수처리장 보조집수조내에서 수중펌프 수리작업을 하고자 들어가던 피해자 1명이 H₂S 등 유해가스를 흡입하여 혼미한 상태에 있는 것을 발견하고 이를 구조하기 위해 들어간 2명도 동시에 질식하여 사망한 재해임.



· 사고당시 수중펌프 수리를 위해 피해자인 전기기사 노○○이 지하 보조집수조에 알루미늄 사다리를 놓고 내려가 작업중 보조집수조내 원폐수(길이 630mm)에 축적되어 있던 산 가스(염산, 황산, 질산, 인산 등) 및

2. 재해발생경위



혐기성 조건에서 발생된 H₂S가스 등에 의해 질식되어 의식을 잃고 쓰러진 것으로 추정.

· 이때 부근에서 이를 목격한 피재자 대기환경기사 김○○와 수질환경기사 강○○이 보조집수조 안으로 들어가 정신이 혼미한 상태에 있는 노○○을 끌어 올리려고 함.

· 이를 목격한 ○○부장이 경비실과 동료직원에게 위험상황을 알리고 119 구조대에 전화로 구조요청하여 약 15분후 소방서 소속 119 구조대가 도착, 집수조안에 있는 김○○외 2명을 탱크 밖으로 끌어내 인근병원으로 후송하였으나 병원도착 직후 3명 모두 사망하였음.

3. 재해발생원인(추정)

· 재해발생 장소인 보조집수조는 집수조에서 overflow 된 원폐수를 저장하는 장소로서 수중펌프를 이용하여 외부에 있는 플라스틱 저장용기(1톤, 3톤)에 폐수를 이송하는 작업을 재해당일 오전에 실시하였음

<추정1> 점심식사 후 노○○은 수중펌프 상태점검 및 수리를 위해 지하 보조집수조에 알루미늄 사다리를 놓고 내려가 작업중 원폐수내에 함유되어 있던 H₂S 가스 등 유해가스에 의해 질식되어 혼미한 상태에 이른 것으로 추정

<추정2> 오후에 집수조내에 있던 수중모터를 꺼내는 중 이물질에 걸려 빠져나오지 않자 이물질을 제거하기 위해 알루미늄사다리를 놓고 내려가던 중 사다리에서 미끌어지면서 잔류폐수(깊이 630mm)에 빠져 폐수에 함유되어 있던 고농도의 산가스 등에 의해 질식 사망한 것으로 추정

· 인근에 있던 환경기사 김○○, 강○○이 발견하여 구출하기 위해 집수조내에 들어가 노○○을 끌어올리

려고 애쓰다가 동일한 이유로 질식하여 사망한 것으로 추정

4. 동증재해예방대책

· 집수조 등 폐수처리설비 내부는 외부 신선한 공기와 혼합이 되지 않는 밀폐된 공간으로 입조 전에는 산소농도 및 유해가스농도를 측정하여 이상여부를 확인하고 산소농도가 18% 이상으로 유지되도록 작업전 및 작업중 충분한 환기 실시

· 도금폐수는 많은 유독성 가스가 발생되므로 집수조 내부에의 출입은 금지하여야 하며, 수리시에는 모터 등을 외부로 끌어내어 작업할 수 있도록 하여야 함

· 산소결핍 및 유해가스발생 위험작업시에는 안전담당자를 지정하여 지휘·감독하고 감시인을 배치하여 관리감독 실시

· 환기가 불충분한 장소에서는 송기마스크·공기호흡기를 비치, 활용

· 섬유로우프, 안전대 등 비상시 근로자를 피난시키거나 구출하기 위한 용구비치

· 탱크내부 작업시 유해가스발생 및 산소결핍위험 작업과 관련된 작업안전수칙을 작성하여 근로자에게 주지

■ 사건발생현장사진 ■



[집수조입구(1,200×800ml)]



[지하집수조에 설치된 알루미늄사다리]

■ 산소결핍이란 ■

산소결핍은 "공기중의 산소농도가 18% 미만인 상태"를 말한다. 공기중에는 산소가 약 21%, 질소 78%, 그리고 이산화탄소, 알곤, 헬륨등이 약 1%로 구성되어 있으며 그중 산소농도가 16%이하로 저하된 공기를 호흡하게 되면 체조직(體組織)의 산소가 부족하게 되고 빈맥(頻脈) 및 빈호흡(頻呼吸), 구토, 두통 등의 증상이 나타나고 10%이하가 되면 의식상실, 경련, 혈압강화, 서맥(徐脈 맥박수 감소)을 초래하게 되어 질식 사망하게 된다.

산소결핍증이란 "산소가 부족한 공기를 호흡함으로써 생기는 제반증상"을 말한다.

■ 산소결핍 발생원인과 장소 ■

☆ 공기중 산소의 소모

가. 물질의 산화작용

1) 저장용 탱크 등 소재의 산화

철재 탱크내에 물기가 있거나 장기간 밀폐되면 내벽이 산화되어 생긴 녹이 탱크내의 산소를 감소시킴으로 산소결핍 상태가 된다.

내부를 수세한 후 물을 충분히 건조시키지 않고 밀폐하였거나 옥외에 방치된 철재 탱크내부는 쉽게 산소결핍에 의해 위험해 질 수 있다.

선박의 내부나 균형조절탱크는 해수에 의한 철의 산화가 빨라 공기중의 산소량이 빠르게 감소되므로 그 내부의 청소작업을 행하는 조선소와 근로자가 산소결핍증을 일으킨 예가 있다.

일반적으로 지하에 매장되어 있는 광물질에는 황화철을 비롯한 환원상태의 제1철 화합물이 많이 함유되어 있는데 이들 환원상태의 물질은 공기와 접촉할 때 수분이 존재하면 쉽게 산화하여 산소를 흡수한다. 금속광산이나 탄광갱도의 암석표면과 틈새에 존재하는 환원상태의 물질들이 갱도내 산소를 흡수하여 저산소 환경을 만드는 일도 있다.

발생장소

강재(鋼材)의 보일러, 탱크, 반응탑, 압력용기, 가스홀더, 반응기, 추출기, 분리기, 열교환기, 선창, 선박의 이중저(二重底) 등의 내부

2) 저장 또는 운반 물질의 산화

석탄, 강재, 고철 등은 상온에서도 공기중의 산소를 소비하여 산화·발열되어 녹을 발생한다. 그러므로 이들 물질을 저장하거나 운반하는 탱크, 선창, 유개화차의 내부 등은 산소결핍상태가 될 우려가 있다

발생장소

탱크, 선창, 호퍼, 사일로, 유개화차 등의 내부



3) 건성유의 산패

아마유, 보일(boil)유 등의 도료용 건성유는 건조·경화될 때 다량의 산소를 유성분(油成分)분자 내에 포집하여 결합하며 동시에 일산화탄소와 알데히드를 방출함으로써 저산소상태를 만들고 또한 건성유와 대두유, 유채유와 같은 불포화 지방산을 함유한 식물성 식용유는 공기중의 산소와 결합하여 고화·변질된다. 따라서 환기가 좋지 않은 탱크, 지하실, 선박내부 등을 건성유가 함유된 도료로 도장하면 주위의 산소농도를 저하시킨다. 또한 식물성 기름을 저장한 탱크내 는 질소치환을 하지 않으면 안되므로 산소농도가 저하될 우려가 있다.

발생장소

건성유를 사용하여 도장한 통풍이 나쁜장소, 식물성 기름저장탱크 등의 내부

나. 미생물의 호흡작용

지상에서는 다양한 미생물이 생존하고 있으며 주위의 물질을 화학적으로 변화시키는 강한 능력을 가지고 있다.

예로써 산소의 소비량을 비교하여 보면 생체 1kg(수분을 제외)이 섭씨 30도 부근에서 1시간에 소비하는 소비량은 표3-1-1에서 보는 바와 같이 사람의 몇배로부터 최고 6,000배의 산소를 소모시키는 것도 있다. 이와 같은 강한 능력을 사람들이 이용하여 발효식품, 의약(페니실린, 스트렙토마이신 등)의 제조와 폐기물 처리(하수, 분뇨, 매립)를 하고 있다. 그러나 이같은 산소 소비능력은 밀폐공간내에 들어가는 작업자에 대해 산소 결핍증이나 조건에 따라서 황화수소 중독을 발생시킨다. 또한 고온다습한 계절에는 곡물, 목재등의 표면에 미생물이 증식하여 동일한 위험을 수반하기도

한다.

〈표3-1-1〉미생물의 산소 소비량

생체	소비량
사람	200 cc
원생동물(Paramecium)	500 cc
사상균(Lusarium)	10,000 cc
조류(Chlorella)	40,000 cc
세균(Azotobacter)	1,200,000 cc

1) 미생물의 증식

분뇨, 부니오수, 펄프액, 기타 부패하거나 분해하기 쉬운 물질을 넣었던 탱크등이나 하수, 오물은 세균의 증식에 따른 산소의 소비로 이산화탄소, 메탄, 황화수소 등의 발생을 동반하고 하수설비나 핏트(pit)나 오수조, 분뇨처리장의 오물조내 등에서 장해를 일으킨 예가 적지 않다.

식품공장, 도살장, 어시장, 대형호텔의 주방 등의 하수조, 수세변소처리조 등의 오수는 미생물의 영양이 되는 성분이 많이 함유되어 있어 산소소비나 이산화탄소, 메탄, 황화수소 등의 발생이 현저하다.

또한 최근 종이, 펄프제조업에 있어서 밀폐된 원료저장조(조성조, 재생조 등)의 내부에 청소, 점검 등을 위해 들어간 근로자가 산소결핍에 의해 사망한 예가 속출하였고 펄프액(pulp slaggy)이 이상 발효하여 산소가 소비되었을 뿐만 아니라 이산화탄소, 메탄, 황화수소 등의 가스도 발생하는 원인이 되었다.

발생장소

탱크, 선창, 조, 관, 압거, 맨홀, 하수구 또는 핏트(pit)의 내부

2) 유기물의 부패

케이בל, 가스 등의 압거, 맨홀 또는 핏트, 우수(雨水)



등이 체류하는 암거, 맨홀내에서는 긴 세월에 걸쳐 우수, 하천의 유수(流水) 또는 용수(湧水)가 유입되며 이 속에 함유된 유기물에 의해 부패가 되어 산소소비가 일어난다. 또한 신설중인 맨홀에서도 내부의 공기가 산소결핍 상태가 되는 일이 있으므로 방심해서는 안 된다

이것은 콘크리트형틀의 목재로부터 콘크리트의 강알칼리 성분에 의해 여러 가지의 물질이 녹아 나와 지표로부터 유입된 오수가 가해져 맨홀내의 산소는 소비되고 이산화탄소, 메탄, 황화수소 등이 발생하게 되기 때문이다.

이것은 콘크리트의 응고가 완료될 때까지 비교적 단 시간에 일어나며, 형틀을 떼어내기 위해 맨홀내에 들어간 근로자가 산소결핍에 의해 위험해질 수 있다.

발생장소

케이블 또는 가스관용의 암거, 맨홀 또는 핏트의 내부, 우수, 유수 등이 체류했던 암거, 맨홀 또는 핏트의 내부

3) 미생물의 발효

미생물 발효탱크나 자연발효의 우려가 있는 탱크 및 발효제품 저장탱크, 청주나 간장의 양조 등에서는 이산화탄소, 기타 가스가 대량 발생하여 탱크내가 산소결핍이 된다. 특히 가열하는 경우에는 배양액으로부터 이산화탄소가 대량 발생되어 급속히 산소결핍이 된다.

발생장소

탱크, 항온실(외기를 막고 내부의 온도를 일정하게 만든 구조물) 또는 양조조의 내부

다. 식물, 곡물, 목재 등의 호흡작용

채소나 과일과 같은 식물도 사람과 마찬가지로 정상적인 호흡작용을 하고 있으므로 산소가 결핍되면 생존하기 어려우며 그 한계농도는 종류에 따라 다르나 수 퍼센트 정도로써 그 이하에서 호흡은 억제되고 더욱 감소되면 무호흡에 따른 장애를 일으킨다.

식물의 녹색잎은 광합성에 의해 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출하나 사일로나 탱크내의 녹색잎은 이와 같은 산소의 방출은 없고 반대로 산소를 소비하여 이산화탄소를 방출하는 호흡작용이 이루어지므로 산소결핍상태가 된다.

1) 식물 및 곡물의 호흡작용

곡물, 야채, 과일류는 저장중에도 호흡작용을 하여 산소를 소비하고 이산화탄소를 발생한다. 저장고 등 환기가 나쁜 장소는 비교적 빠르게 산소결핍상태가 된다.

야채나 사료를 저장하는 사일로중에서도 산소농도가 낮고 이산화탄소농도가 높게 되며 조건에 따라서는 NOx(질소산화물)를 발생하여 폐포파괴에 의한 폐수종을 초래한다.

발생장소

사일로, 야채항온실, 창고, 선창, 핏트의 내부

2) 목재의 호흡작용

원목이나, 칩(chip, 펄프원료용 나무조각)은 목재의 호흡작용, 미생물에 의한 발효작용 또는 수지의 산화작용 등으로 선박에서 수송 중 선창내의 산소를 소비하고 이산화탄소를 현저히 발생시켜 선창내를 산소결핍상태로 만든다.

이 경우 칩과 같이 표면적이 넓은 것이 산소를 가장



많이 소비하여 위험하게 하고 원목의 경우 소나무, 삼 나무, 나왕의 순으로 산소를 소비한다.

예로써 칩의 경우에 있어서 측정위치에 따른 산소농도를 살펴보면 나무조각 위에서 사람이 서서 호흡하는 위치에서는 산소농도가 약 21%가 되어도 나무조각의 상방 20~30cm의 위치에서는 10여 퍼센트, 나무조각면에서는 불과 몇 퍼센트 정도로 매우 낮은 농도가 되는 경우가 있으므로 특별히 주의를 요한다.

또한 같은 종류의 목재에서는 벌채 후 비교적 싱싱한 생목(生木), 나무껍질이 많이 붙어 있는 것, 가지 또는 잎이 남아있는 것들이 산소결핍을 일으키는 확률을 높이는 것으로 알려져 있다.

발생장소

선창, 호퍼(집을 저장하고 있는 것) 등의 내부

라.기 타

1) 각종 탱크나 밀폐된 방

제품의 처리과정에서의 가열, 훈증, 감압건조, 냉동 등의 처리용 작은 밀폐실, 냉동고 등에서 근로자가 내부에 갇혀 산소소비에 의해 질식한 예가 적지 않다.

이와 같은 밀폐된 장소의 내부점검 등을 위해 들어갈 경우에는 문이 잠기지 않도록 조치하거나 내부에서 열 수 있는 구조로 하는 것이 필요하다.

또한 탱크내부의 공기를 감압하여야 하는 화학장치 등에서는 그 내부에 사람이 있을 때 감압하면 산소결핍증이 발생되므로 내부에 사람이 있을 때에는 진공 펌프나 감압밸브가 작동되지 않도록 하는 조치가 필요하다

발생장소

냉장실, 냉동실, 항온실, 탱크, 보일러, 압력용기, 반응탑 등의 내부

2) 지하수의 산소소모

땅밀을 흐르는 물을 이용하는 수도의 집수조나 수력발전소의 지하취수구 맨홀 및 용수가 풍부한 지하터널내에서는 지하수에 용존산소가 적을 때 공기중의 산소를 용해하여 산소결핍이 발생하는 일이 있다.

또한 구릉지대 택지조성지에 있어서의 배수암거(排水暗渠)내에도 동일한 위험이 있어서 이들의 내부점검이나 청소를 위해 들어갔던 근로자가 희생된 사례가 있다.

발생장소

수도의 지하 집수지(集水地), 수력발전소의 취수구, 용수(湧水)가 풍부한 지하터널이나 맨홀등의 내부

3) 우물

간이수도나 일반 우물에서는 물에의 산소용해, 내부에서 미생물의 호흡, 지질에 따른 산소흡수, 토사층으로 부터의 산소결핍공기의 유입 등 복잡한 원인에 의한 산소결핍 상태가 발생할 수 있다.

☆ 지환용 기스의 사용

현재는 각종의 가스가 다방면으로 사용되고 있어 공기 이외의 가스에 의한 사고가 증가하고 있으며 사고의 위험이 있는 가스를 위험성에 따라 분류하면 다음과 같다

- ① 가연성(可燃性) 가스 : 수소, 메탄, LP가스 등
- ② 지연성(支燃性) 가스 : 공기, 산소, 일산화탄소 등
- ③ 불연성(不燃性), 질식성(窒息性), 불활성(不活性) 가



스 : 이산화탄소, 질소, 알곤 등

가. 화재·폭발예방을 위한 질소 등의 봉입(封入)

가연성 가스나 액체에 의한 화재·폭발을 예방하는 방법으로는 점화원 또는 공기를 제거하는 것이 좋다.

석유화학공장 등에서는 점화원이 되는 전기기기를 방폭형으로 하고 정전기나 충격불꽃 등의 발생을 방지하여 안전성을 높이기 위해 질소로 공기를 치환하는 대책이 실시되고 있다. 또한 가연성 가스나 액체의 배관, 탱크의 신설시나 수리시에는 화기(火氣)를 사용하는 기회도 많아 화재·폭발의 위험성을 제거하기 위해 내부의 공기나 가연성 가스, 증기를 질소로 치환하는 작업이 시행되고 있다. 그러므로 화재·폭발예방을 위해서는 산소결핍사고예방에 대한 충분한 고려는 물론, 작업자, 설비 모두에 대한 안전을 확보하는 것이 필요하다.

발생장소

질소치환을 실시하는 반응탑, 저장탱크, 배관 등

나. 기타 질소, 이산화탄소 등의 이용

1) 산화, 흡착, 재용해의 방지

산화하기 쉬운 입자상(粒子狀)이나 미분상(微分狀)의 화학제품이나 산소를 흡수하는 식물성 기름과 같은 물질은 산화에 의한 변질이나 열화(劣化)를 방지하기 위해 저장공간으로 질소를 봉입한다. 질소를 봉입하여도 이들 물질의 교반시에는 산소결핍공기가 방출되는 경우도 있다. 또한 고온·고압 보일러용수는 부식을 방지하기 위해 용수에 용해되어 있는 산소를 제거하고 저수(貯水)탱크나 접속부 등의 급수계 공간부도 산소의 재용해를 방지하기 위해 질소를 봉입하는 경

우가 있다. 같은 경우로 공기를 차단하기 위한 이산화탄소나 알곤(Ar)을 이용한 반자동이나 전자동 용접법도 환기가 나쁜 장소에서는 산소결핍사고를 일으킬 우려가 있다.

발생장소

질소치환을 실시하는 각종 저장탱크, 환기가 나쁜 장소에서의 불활성 가스를 이용한 아크용접, 절단작업

2) 냉각제의 사용

드라이아이스나 액체질소는 각종 식품을 급속냉동시키는데 이용하고, 수송시의 저온이나 신선도 유지를 위해서는 냉동고내에 드라이아이스를 넣거나 액체질소를 직접 살포하게 된다. 기계부품을 액체질소나 드라이아이스를 이용하여 냉각수축하는 방법이 가열에 의한 산화 등의 방지상 유리한 것으로 실용화되고 있다.

발생장소

액체질소나 드라이아이스를 사용하는 냉동고, 컨테이너 등

다. 가스의 분출, 돌출

터널공사나 탄광내에서 돌연히 대량의 메탄이나 이산화탄소가 돌출하여 산소결핍사고가 일어나는 일이 있다. 또한 환기가 빌딩의 지하실, 선박의 비좁은 구획, 도장공장이 핏트 등에 설치된 이산화탄소 소화설비의 오조작 등에 의한 분출사고도 있었다.

냉동기에 이용하는 냉매는 자극취가 강한 유해한 암모니아와 누설되는 경우 바로 알 수 있으나 저독성으로 안전한 프레온은 반대로 안심하다가 산소결핍사고를 일으키는 일이 있다. 또한 프레온계의 용제나 에어



로졸의 분사제 등을 취급할 때에도 이와 같은 위험에 주의하지 않으면 안된다.

발생장소

메탄, 이산화탄소를 용출하는 광산, 탄광, 지층의 수직
갱, 핏트 등의 내부, 이산화탄소, 프레온 등의 소화설
비를 갖춘 지하실, 지하주차장, 선실, 탱크, 핏트 등의
내부

라. 기타

전화케이블, 송전케이블 등에는 습기의 침입방지와
파손부위 경보를 위해 질소가 봉입되어 있으므로 맨
홀 내에서 누설되어 산소결핍사고를 일으킬 우려가
있다.

<자료제공 : 한국산업안전공단>



<http://WWW.JOINSEXPO.COM>

환경을 살리는 엘리트기업을 위한 환경비즈니스박람회!!

제9회 국제환경산업전
seoul international ENVIRONMENTAL industry

2001 친환경녹색제품전
seoul international Green Products & Management Fair

- 일시 : 2001. 10. 9 (금) ~ 10. 22 (월)
- 장소 : 코엑스(COEX)인도양홀

- 전화 : 751-9622/9623(국제환경산업전) 751-9614(3차환경녹색제품전)
- 팩스 : 751-9656

전시품목

환경장비 및 관련산업 부문
환경 적합상품 부문
일반환경 서비스 부문

출품품목

환경 및 인증제품 및 시설
에너지 관련
공해물질발생 저·제품

주최 : 중앙일보

후원 : 환경부, 산업자원부, 서울특별시, 전국환경관리인연합회