



지하건설과 작업환경

지하시설의 확충과 함께 터널 굴착기술의 향상과, 각종 공사용 기계의 개발, 도입에 의해 효율화도 진전되고, 능률과 안전면에서도 최근 큰 발전이 이루어져 대규모 터널공사와 지하공사의 건설이 활발하게 이루어지고 있다. 지하건설에 관련된 작업자의 건강에 대한 관심은 매우 높아지고, 건설공사현장에 있어서는 이러한 작업환경, 건강장해의 방지대책이 중요한 과제가 되고 있다.

남 기 천
건설안전기술사
선경건설 부장

1. 지하개발의 필요성

이제 지하공간은 교통, 저장, 공급 처리시설에서 스포츠 시설, 상업위락시설, 교육문화 및 보건시설에 이르기까지 폭넓게 활용되고 있으며 이러한 제반시설들은 유사시에 다른 용도로도 활용되게끔 세심한 고려에 의해 개발되고 있다.

지하공간의 개발이 갈수록 활기를 띠는 까닭은 한정된 지표면적이 첫째 이유겠지만, 지하공간이 지니는 독특한 환경적 특성과 사회경제상의 장점에 기인한 점이 적지 않다. 즉 지하시설은 외부에 노출되지 않으므로 소음, 진동, 악취등의 피해를 줄일 수 있고 자연 경관 보존이 가능하며, 출입구를 제외하면 부지 소요가 거의 없으므로 지상부의 토지 절약 및 토지의 별도 이용이 가능하다. 또한 차폐성, 열축적 효과등으로 내부 온도 조절에 소요되는 에너지를 절감할 수 있고 지하 암반의 엄폐효과 및 충격 차단 효과를 이용하여 각종 중요 시설물들을 재난이나 전쟁에서 보호할 수 있다.

그러나 한편으로는 지하에 대한 인간의 심리적 기피 현상과 함께 굴착 및 복공, 환기, 소방등에 관한 특수기술이 요구되는 단점이 따른다. 또한 한번 형성된 지하 공간은 원상 회복 및 변형이 곤란하므로 재개발이 어렵다는 단점도 있다. 그러나 '필요는 발명의 어머니'라고 했듯이 지하 공간개발 필요성의 지속적인 증가에 따라 혁신적인 발전을 거듭해 온 터널공사기법 등은 밑으로의 확장을 꾀하는 인류에게 무한한 가능성을

보여주고 있다.

이와같은 지하시설의 확충과 함께 터널 굴착기술의 향상과, 각종 공사용 기계의 개발, 도입에 의해 효율화도 진전되고, 능률과 안전면에서도 최근 큰 발전이 이루어져 대규모 터널공사와 지하공사의 건설이 활발하게 이루어지고 있다.

한편, 지하건설에 관련된 작업자의 건강에 대한 관심은 매우 높아지고, 건설공사현장에 있어서는 이러한 작업환경, 건강장해의 방지대책이 중요한 과제가 되고 있다. 건설업에 있어서 업무상 질병은 부상에 따른 관련 질병, 요통, 화상, 안질환외에 배기가스에 따른 일산화탄소 중독, 그외의 유해가스 중독, 지하공사에 의한 산소결핍증 등이 나타난다.

그외에 최근의 기술 혁신의 진전에 동반하는 신공법의 채용, 시공분야의 확대는 작업자에게 신체적, 정신적 영향을 주어 지금까지 발견되지 않은 새로운 건강장해를 발생시킬 수 있는 우려가 있기 때문에 충분한 주의가 필요하다. 또 최근의 젊은 작업원의 상대적 감소로 인한 중장년 작업원의 역할이 계속 증가하는 가운데, 이들 작업원의 건설공사 현장에의 적응성이 문제로 등장하고 있다.

해인자로는 크게 화학적 환경, 물리적 환경 및 작업원 조건등으로 분류되며, 이들의 유해인자 중에서 분진, 가스, 고온등은 지하공사에 대한 작업원의 건강 및 안전의 확보와 작업능률의 향상에 관계하는 중요한 인자이고, 쾌적한 작업환경을 확보하기 위해서는 환기 집진의 관리가 필요하다.

터널공사에서 환기집진은 단순한 가설비로 취급되어 왔으나 충분하고 적절한 환기 집진을 함으로써 위생적인 작업환경과 함께 양호한 시야를 확보하고 작업능률향상 및 안전에 연결된 매우 중요한 설비이다. 이와 같이 환기 집진은 터널내의 작업원에게 신선한 공기를 공급하며, 발파후 가스·분진, 기계굴착시, NATM의 SHOTCRETE 부착시등의 분진, 엔진의 배기가스, 가연성가스, 산소결핍 공기, 그밖의 유해가스를 국소적으로 집진하여, 전체적으로 희석·배출시키기 위하여 적용하는 것이다. 작업환경에 존재하는 유해요인에 따라서 발생하는 건강장해는 유해성·독성의 강약, 유해물질의 형태 및 그의 인체내로의 침입경로, 노출된 정도, 작업내용의 강도, 개인별 감수성, 성별등에 따라서 영향을 받는다.

2. 작업환경에 유해한 인자

지하작업에는 분진, 유해가스, 온도, 소음, 진동등 건강에 해가되는 많은 인자가 존재하고 있으며, 이들의 유해인자에 대응하는 예방조치를 하지 않은채 작업을 계속한다면 결국은 건강장해를 일으키게 된다. 이들 유

가. 분진, 흡에 의한 건강장해

1) 발생 분진의 특성

터널공사에는 제한된 공간에 각종의 분진, 매연, 용접 FUME 등의 유해물질이 다량으로 일시에 발생한다. 기계굴착공법에도 JUMBO DRILL, TBM 등에 의한 작업중과 버력의 반출 작업시에 다량의 분진이 발생한다.



환기 집진은 터널내의 작업원에게 신선한 공기를 공급하며 발파후 가스·분진, 기계굴착, NATM의 SHOTCRETE 부착시등의 분진, 엔진의 배기가스, 가연성가스, 산소결핍 공기, 그밖의 유해가스를 국소적으로 집진하여, 전체적으로 희석·배출시키기 위하여 적용하는 것이다.



또, 최근에는 많은 터널공사에서 채택하고 있는 NATM 공법은 SHOTCRETE 작업시에 다량의 분진이 발생하며 이들의 분진은 산성 먼지를 함유하고 있기 때문에 오랜기간에 걸쳐서 흡입하게 되면 진폐증에 걸릴 염려가 있다. 또한 가연성가스와 유해가스가 직접 재해와는 직결되지 않지만, 방심해서 분진에 노출되는 기회가 거듭되는 경향이 있으므로 분진 장해의 위험성을 인식하고 방지에 노력할 필요가 있다.

가) 분진의 분류

분진은 기계적처리 조건에 따라 발생하는 고체입자상물질의 분진과 금속이 용해될 때 증기도 되고 공기중에 그것이 덩어리입자상으로 용접 FUME 등으로 분류된다. 터널공사중에 발생한 분진의 관리에는 분진의 특징을 충분히 파악하는 것 외에 적절한 측정방법에 기초하여 작업환경을 관리하는 것이 대단히 중요하다.

나) 분진의 입경

공기중에 부유하고 있는 입자의 크기는 넓게 분포되어 있으며 대기중에 부유하고 있는 분진은 0.01~10 μm 으로 알려지고 1 μm 이상의 분진에는 석탄, 이슬외에 토양과 지표의 먼지와 티끌이 있다. 또 1 μm 이하의 미립자에는 각종의 FUME, 석유계연료의 연소매연 및 담배의 연기등이 있으며 폐에 침착해서 악영향을 미치는 분진입자의 크기는 0.5~5 μm 의 범위이다.

다) 분진중에 산성먼지

광물성분진 중에 산성먼지를 포함한 분진은 진폐를 일으키는 대표적인 것으로서 산성먼지는 도로가장자리

의 흙먼지의 안에도 10~20% 정도 포함되어져 있고 일반암석과 요업원료등에도 20~65%, 경암이 20~40%가 포함되어져 있다.

2) 분진의 체내 침입

흡입된 공기는 비공, 후두, 기관, 기관지, 폐포등의 순으로 들어가고, 폐포에 공기중의 산소와 혈액중의 탄산가스가 교환되고, 반대의 경로로 공기는 체외로 분출된다. 공기중에 떠다니는 분진을 마시는 경우 그 분진이 기도에 붙게되거나 폐포에 일단 접촉되면 그것은 흡착된다.

분진이 흡착되는 부위는 분진의 입경에 좌우되며 입경이 큰 분진은 대부분 비공에 흡착되고 폐의 안까지는 도달하지 않는다. 폐의 질병에 관련된 심부의 폐조직으로의 흡착율과 분진의 입경과의 관계를 보면 1 μm 미만의 경우 2 μm 부근에서 흡착율이 최대 PEAK가 되며 기관지 계통의 침착률은 6 μm 부근에서 최대로 나타난다.

흡입된 공기중의 분진 중에서 입경이 큰 것은 먼저 비공에서 제거가 되고 제거되지 않은 분진이 기도를 통해 폐포에 까지 들어가지만, 1 μm 보다 작은 입경의 것은 대부분 호흡과 동시에 체외로 배출된다.

3) 분진에 따른 진폐

진폐를 일으키는 분진은 주로 폐포의 호흡기관지에 도달한 5 μm 이하의 분진이라고 생각되어진다. 같은 석면에 의해 발생하는 진폐(「석면폐」 불려지고 있다)의 경우는 5 μm 를 초과하는 길이의 섬유도 관계가 있다고 생각되어진다. 또, 진폐를 일으키는 분진은 무기분진이고, 유기분진

이 진폐를 일으키는지는 아직까지 불분명하다.

진폐는 「분진을 흡입함으로써 폐에 나타나는 섬유조직성 변화를 주체로 하는 질병」을 말하며 가스 교환기능이 저하되고, 체내 폐에 산소의 부족이 일어나게 되어 작업이 곤란하게 된다. 진폐는 초기에는 자각증상이 전혀없고 상당히 병이 진행이 되어야 자각증상이 나타나며, 자각증상으로는 호흡곤란, 흑, 폐암과 흉부통증과 요통을 호소하는 일도 있다. 기타 다른 증상으로는 심폐기능의 저하가 나타나며 사망의 원인으로서는 심폐기능이 저하되는 것이며, 전체적인 진행은 20~30년이다.

4) 진폐의 예방

분진의 발생을 예방하는 원칙은 작업원이 흡입하는 분진량을 감소시키는 데 있다. 이를 위해서는 다음과 같은 대책이 있다.

가. 분진이 나게해서는 안된다.

나. 분진의 발생을 억제한다.

다. 발생한 분진을 적절히 제거한다.

라. 발생한 분진을 신선한 공기로 희석한다.

분진에의 노출은 작업방법, 작업자세등의 차이보다는 개인적인 노출이 크게 좌우하므로 적절한 진폐예방을 위하여 작업원 스스로가 분진의 발생과 확산방지방법 등을 충분히 인식하고 적절한 방법으로 작업을 하는 것이 중요하다.

5) 분진의 관리 농도

터널공사중에 발생하는 분진의 농도는 작업내용, 작업장소 및 시간등에 따라 변동하기 때문에 이 농도를 어

땀을 평가하느냐 하는 것은 상당히 복잡하다. 따라서 터널에 있어서는 분진의 발생장소에서 당연히 발생하는 것을 조치하지 않으면 안되지만, 농도에 대해서는 특별한 규정이 없다.

예를 들면 콘크리트 부착 분진을 대상으로한 경우, 시멘트분, 골재분이 대부분을 차지하고, 산성면지 함유율 Q는 대강 20% 이고, 분진허용농도 M은 흡입성분진은 $0.53\text{mg}/\text{m}^3$, 총분진은 $2.14\text{mg}/\text{m}^3$ 정도이다. 이 결과 콘크리트 뿜어부치기 분진의 관리농도는 흡입성분진이 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 총분진이 $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 이 설정된다.

또 용접 및 용단작업에는 금속의 증기가 응축되어 고체의 미립자 즉, 금속 FUME을 발생한다. 그러나 이때에 용접, 용단 및 그외의 작업에도 분진이 발생하고, 그의 분진과 FUME은 혼재하고 있으나, 환경측정에 의하여 구분되지는 않는다. 통상, 용접, 용단작업장에서의 유해물질의 주요인은 FUME이라고 생각되어지는데, 대책으로서는 FUME을 주로 제한하는 관리이다. FUME의 허용관리농도는 흡입성분진이 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 총분진이 $4\text{mg}/\text{m}^3$ 이 된다.

본 허용농도는 현장의 위생관리의 지표로써 권고된 것이기 때문에 작업 환경에 따라서는 반드시 환기를 하려면 끝이없기 때문에, 이와같은 환경조건에서는, 전작업원이 방진 마스크의 착용을 의무로 부여하고 있다. 여기서 말하는 허용농도는 인간이 흡입하지 않게되는 수치를 고려하는 것은 당연하고 환기 혹은 방진 마스크의 권장을 엄수시키는 관리 농도가 된다.

3. 유해가스, 산소결핍공기에 의한 건강장해

유해가스는 일산화탄소, 이산화탄소, 이산화질소, 황화수소 등이 있고 산소결핍공기도 포함되고, 가연성 가스로서는 메탄, 프로판, 아세틸렌 및 수소등이 있다.

가. 유해가스의 특징

1) 유해가스의 종류와 제성질 및 그의 작용

터널공사 및 지하공사의 밀폐공간에 있어서 공기는 굴착작업에 수반한 발파 후의 가스, 공사용기계의 엔진배기가스, 또는 자연발생한 유해가스 등에 따라서 오염된다. 유해가스에는 일산화탄소(CO), 탄산가스, 산화질소류, 황화수소등이 있다.

2) 유해가스에 발생

가) 발파 후 가스

발파 작업에는 일산화탄소, 산화질소류 등의 가스가 발생되고, 발파 후 발생하는 가스가 환기의 대상이 된다.

나) 공사용 기계의 엔진배기가스
터널 내에 디젤기관을 사용하는 작업에는 일산화탄소, 산화질소류, 산화황류등의 가스가 발생하며 자연발생한 유해가스는 기존자료, 자료답사, 보어링 조사등에서 예측하는 것이 필요하다.

나. 가연성가스의 특징

가연성가스에는 메탄, 프로판, 아세틸렌, 암모니아, 수소, 도시가스등이 있으나 지하공사에 있어서는 자연발생한 메탄 및 매설가스관의 노후에 따라서 발생한 도시가스등의 예가 많다. 이것등의 가연성가스는 농도가 높게 되면 산소를 희석한 산소결핍공기 상태가 되는 동시에 연소, 폭발의 위험성을 수반한다.

1) 지질상의 조건

가) 메탄층

메탄가스는 유전가스, 탄전가스, 수용성가스로 대별된다. 또 수용성가스는 지하의 대수층 내에 고압하에 용해되어 있고, 그 지하수가 대기중



으로 유출등에 의해 감압된 경우 분리하여 용출하게 되는 것이다.

나) 부식층

대상지반이 늪과 못의 매설지, 간척지인 경우, 토사내의 박테리아등에 의해 생물화학적 반응을 하여 메탄가스, 황화수소등이 발생하는 경우가 있다.

2) 공사상의 원인(기존 갱내의 가스)

기존갱내에는 황화수소, 메탄가스, 탄산가스등의 유해가스가 축만되어 있는 일이 있고, 이것도 연결작업을 행할 때에는 분출할 위험성이 있다.

다. 산소결핍공기의 특징

산소결핍에 의한 재해에는 피해자와 구출자가 산소결핍증에 관해서 지식이 부족하기 때문에 피해를 크게입는 경우가 많으므로 산소결핍이 나타날 수 있는 곳에서는 산소결핍증을 충분히 작업원에게 이해시킬 필요가 있다. 산소농도와 인체에 파급되는 영향을 표에 나타냈다. 산소결핍공기의 상태는, 저농도산소에 대한 반응은 개인차에 의하지만 공기중의 산소의 농도가 18% 미만인 상태를 말한다. 산소결핍이 될 위험이 있는 작업장소로서는 지하실, 터널, 암거, 입갱등 외부의 공기에서부터 격리되거나, 혹은 통풍이 나쁜 장소

이다. 그의 원인으로서는 공기중의 산소의 소비, 공기이외의 기체(메탄, 질소, 탄소가스)와의 치환 및 산소함유량이 적은 공기의 용출등이 있다.

공사상의 원인에 관해서는 최근에 압축공기 작업현장이 있는 경우 그의 영향에 의해 산소결핍공기가 유입할 위험이 있고, 또 凍結工法을 보조공법으로 채용한 경우에는 냉각가스(질소가스)의 누출에 의한 산소결핍을 발생시킬 수 있기 때문에 작업현장의 상황, 시공조건등에 관해서도 충분히 검토할 필요가 있다.

1) 산소결핍공기의 발생원인

가) 지질조건에 의한 발생

사력층 간격내의 기존공기가 산소결핍상태가 되고 있는 경우가 있고, SHIELD와 입갱굴착시 실제로 용출이 된다. 특히, 저기압시에는 용출량이 증가되는 일이었기 때문에 주의를 요한다. 산소결핍상태가 되는 지층에는 다음의 것이 있다.

- 산소결핍층

산소결핍층으로서는 대상지반이, 제일철염류를 포함하고 있는 경우와 제일망간염을 포함하는 경우가 많고 그의 지층은 청록색과 흑색을 나타내고 있다.

- 불투기층

불투기층이 존재하고 그의 하부에 물을 가지고 있지 않는 사력층이 어



산소결핍에 의한 재해에는 피해자와 구출자가 산소결핍증에 관해서 지식이 부족하기 때문에 피해를 크게입는 경우가 많으므로 산소결핍이 나타날 수 있는 곳에서는 산소결핍증을 충분히 작업원에게 이해시킬 필요가 있다.



<표 3. 산소농도가 인체에 파급되는 영향>

산소농도 %	인체에 파급되는 영향
16 - 12	맥박, 호흡수의 증가, 정신집중이 곤란, 두통증
14 - 9	판단력이 흐려진다, 만취상태, 기억이 흐려진다, 체온상승
10 - 6	의식불명, 중추신경장해, 경련
6 이하	혼수상태, 호흡정지, 6-8분후 심장정지

면 경우는 산소 결핍층의 가능성이 높다.

나) 공사조건에 의한 발생

압축공기를 채용한 경우 굴착대상 지층이 · 산소결핍 지층이라면, SHIELD의 작업실 보다 지산에 압입한 공기는 산소결핍공기가 되고 재차 쉘드내에 침입하여 이 내부가 산소결핍상태에 놓이게 된다.

- 역류

사력층내의 사력간극에 침투한 쉘드의 공기가 減壓 혹은 정전과 고장에 의해 공기가 차단되는 경우 혹은 후방 쉘드내에 상압부가 존재하는 경우, 갱도에 역류한다.

- 관류

산소결핍층에 있어서 근접한 압축 공기공법을 실시하고 있는 작업장소의 어떤 경우 지층을 통해 공기의 전달이 행해지고 산소결핍공기가 압력이 적은 쪽으로 분출된다. 이 영향 범위는 장소에 따라서는 1km까지 도달하는 일이 있다.

- 지층내의 잔류공기의 용출

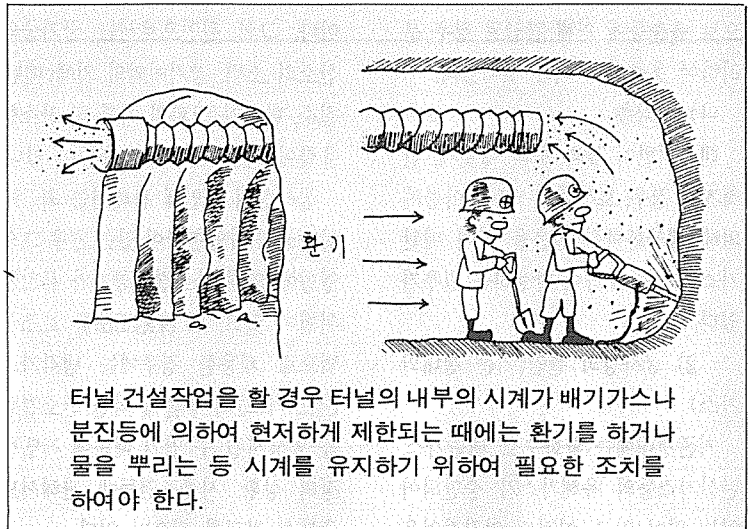
이전에 압축공기공법이 행해진 장소에는 지층내에 다량의 산소결핍공기가 압입되는 일이있고 그와같은 장소에의 공사에 있어서는 산소결핍공기가 용출된다.

다) 산소결핍층

산소결핍에 가장 감수성이 높은 것은 대뇌피질이고 산소공급의 정지가 1분 30초 이내면 대체로의 활동은 복원되지만 2분이상에는 활동성은 회복되어지지 않는다.

라) 산소결핍에 의한 재해 대책

산소결핍공기가 예상되는 공중, 지구에 있어서는 작업마다 사전에 작업



환경을 충분히 조사하고 그의 결과에 기초하여 공법 등을 검토할 필요가 있다. 또 시공중에는 산소농도의 측정의 실시, 보호구의 착용, 긴급시를 위한 구출용구 및 피난시설 용구상비, 작업원의 인원점검의 실시, 감시인의 배치, 필요한 표식과 표시의 정비, 안전교육의 철저 등의 조치가 필요하다.

4. 작업환경개선의 안전역할

가. 위생환경의 개선

건설 공사 현장안에서의 채광, 조명, 온도, 습도등 부적합한 상태에서는 심리적인 면에서 작업원의 노동의욕과 관련된 것외에, 물체의 식별, 피로등으로 인하여 안전과도 직접적, 간접적으로 크게 관계된다. 특히 터널내, 밀폐 공간에서의 분진, 배기가스, 유기용제, 그밖의 유해 위험물질의 분출, 정체 또는 산소결핍공기상태, 심한소음, 더위, 한냉한 장소에서의 작업은 노동위생의 면에서 상당히

위험한 상태에 놓여있다. 따라서 이들에 관해서는 단지 극단적인 경우에만 제외하고, 적극적으로 쾌적한 상태를 만들어 내보내는 노력이 중요한 것이다.

나. 정리정돈

터널공사에 사용하는 각종 기계기구, 전기 그외의 설비, 발판, 방호등의 시설은 법령에 따라 정해진 구조 규격에 적합함과 동시에 시설과 기계 등의 정리정돈은 항시 하지 않을 수 없다. 터널내를 정리정돈하는 것은 작업원의 행동을 방해하는 물건을 제거하는 것에 따라서 작업능률을 높이기 위해 필수조건임과 동시에 노동재해를 방지하기 위해서는 불가결하다. 그러나 실제에는 그리 정리정돈이 잘 되지 않는 경우가 있다. 여기에서의 “정리정돈”이라 하는 것은 추상적이기 때문에 정리정돈의 대상범위를 보다 구체적으로 지시하고, 작업원 자신의 재해에 직결된다는 것을 잘 이해시키는 것이 필요하다. ()