

# 터널의 기본계획, 조사 및 시험

신 희 순 / 한국자원연구소 책임연구원

# 터널의 기본계획, 조사 및 시험

터널의 계획은 터널의 목적과 기능, 지반조건, 공사의 안정성, 주변환경의 영향 등이 충분히 고려된 경제적인 것이어야 한다. 터널의 조사는 초기의 노선계획단계에서 부터 공사단계에 이르기까지의 과정에서 목적에 따라 실시되며 안전하고 경제적으로 터널을 시공하는 데 필요한 기초자료를 구하는 데 있다. 얻어진 자료를 토대로 지반조건에 적절한 굴착방법, 지보패턴, 공기, 공사비가 결정된다.

## 1. 터널의 기본계획

터널계획은 지역여건, 지형상태, 토지이용현황 및 장래전망, 지반조건등 사전조사성과를 기초로 하여 수립하여야 한다. 터널계획은 터널건설의 목적 및 기능의 적합성, 공사의 안전성 및 시공성, 공법의 적용성을 우선하여 수립하되 건설비 및 유지관리비를 포함하여 경제성이 있도록 하여야 한다. 터널계획은 공사중은 물론 운영시 주변환경에 유해한 영향을 미치지 않도록 수립하여야 한다.

### 1.1 선형계획

- 1) 터널노선은 가능한한 지반조건이 양호한 곳을 통과하도록 결정하여야 하며, 특히 용수가 많을 것으로 조사된 지역이나 계곡부 또는 심한 절리가 예상되는 단층, 단애, 파쇄대, 습곡지역 등을 피하는 것이 바람직하다.
- 2) 터널의 평면선형은 가능한한 직선으로 계획하되 경제성 및 시공성도 고려 하여야 한다.
- 3) 평면선형과 종단선형은 상호 연계하여 조화되도록 계획하여야 한다.
- 4) 종단계획에 따른 터널의 최소 토피는 터널의 구조적 안전영역(Safety Zone)의 범위가 확보되도록 결정하여야 하며, 최소 토피에는 장래예상되는 지상토지이용 한계심도를 반영하여야 한다.
- 5) 터널의 갱구위치는 지형 및 토지이용현황, 지반조건, 토피 등을 감안, 시공성을 우선하여 결정하되 편압 및 사면활동이 영향이 적은 안정된 지반에 가급적 자연사면의 경사각에 직교되도록 선정하여야 한다.

- 6) 터널을 2개이상 병렬로 계획하는 경우에는 터널의 단면크기와 원지반의 공학적특성을 감안하여, 터널 굴착공사로 인한 주변 지반거동 및 발파진동이 인접 터널에 나쁜 영향을 미치지 않도록 상호 충분히 이격시켜야 한다. 2개이상의 터널을 인접하여 설치하는 경우 또는 다른 구조물에 접근하여 터널을 설치하는 경우에는 상호의 영향에 주의하여야 한다. 병설터널의 중심간격에 대해서는 일본 국철에서는 단선병렬의 경우 20 m를 표준으로 하고 있고 일본 도로공단에서는 2차선 고속도로 병렬인 경우 30 m를 표준으로 하고 있으나 입지조건 때문에 더 접근하고 있는 곳도 적지 않다. 또 완전탄성체로 간주하는 현지 지반에 있어서 굴착폭의 2배, 점성토 등에서의 연약한 현지지반에서는 5배로 하면 정적으로 상호 영향이 없는 것으로 판단하고 있다. 그러나 발파에 의한 동적인 영향에 대해서는 지질, 폭약량, 거리, 상대구조물의 강도 등 많은 요소가 있어 일반적인 결론을 내리기 어렵다. 따라서 병설터널의 중심간격의 결정은 지질, 단면현상, 시공법 등 많은 요인이 있으므로 개개의 조건을 충분히 검토한 후 정하여야 한다.
- 7) 계획터널이 기존 시설물에 근접하여 통과하는 경우에도 기존 시설물의 중요도 및 구조적인 특성에 따라 터널굴착공사의 영향을 검토하고 필요시 방호공동의 사전대책을 수립하여야 한다.

## 1.2 구배계획

- 1) 철도, 지하철 및 도로터널의 구배는 배수에 지장이 없는 범위내에서 가급적 완만하게 계획하여야 한다.
- 2) 수로용 터널의 구배계획은 터널목적 및 기능에 따라 계획통수량을 우선하여 내공단면과 수두압 및 유속의 상관관계를 고려하여 수립하여야 한다.
- 3) 계획구배는 갱구에서 터널굴진 방향으로 가능한한 상향구배가 되도록하여 공사중은 물론 운영시 배수가 원활히 이루어지도록 한다.
- 4) 장대터널에서 배수보다는 환기기능을 우선으로 할 필요가 있는 경우에는 반대로 하향구배를 채택할 수있으나 이 경우에는 별도의 배수설비를 계획하여야 한다.
- 5) 도로터널의 경우 종단계획시 0.3 ~ 2.0 % 이내의 구배로 계획함이 바람직하다. 터널 완성후에 용수를 콘크리트 구조물의 배수구조등에 의해 자연배수 시키기 위해서는 통상 0.1 % 이상의 구배가 있으면 되지만 시공중에 용수를 터파기한 측구등으로 자연배수 시키기 위해서는 용수가 적은 경우에는 0.3 %, 상당히 많은 경우에는 0.5 % 정도의 구배가 필요하다. 도로터널에서는 통행차량의 배기가스를 최소한으로 하기 위해서는 상향구배는 될 수있으면 완만하게 할 필요가 있다. 수저터널 등의 특수한 경우를 제외하고 도로, 철도의 터널 구배는 일반적으로 0.3 % 이상의 구배로 하고 사용목적, 연장, 시공중의 배수 등을 고려하여 적절한 구배를 채택하여야 한다.

### 1.3 내공단면계획

- 1) 터널, 지하철 및 도로터널의 내공단면은 터널목적 및 기능에 따라 소요건축 한계와 선형 조건에 따른 확폭량, 터널내 제반설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유 폭 등을 고려하여 정하여야 한다.
- 2) 고속철도용 터널의 내공단면은 열차의 고속주행에 따른 공기압 변화를 고려하여 필요한 면적을 계획하여야 한다.
- 3) 터널의 내공단면 계획시에는 지형 및 지반조건, 토피정도에 따라 소단면정도에 따라 소단면의 2개이상 병렬터널이나 대단면의 1개 터널로의 채택여부를 충분히 검토하여 안전성과 시공성 및 경제성을 확보하여야 한다.
- 4) 수로용 터널의 내공단면은 계획통수량을 기준하여 수두압, 수충압 및 유속과 연계하여 결정하여야 한다.
- 5) 터널의 굴착단면계획은 지보재의 총 두께와 내부라이닝 콘크리트의 두께, 허용편차 등을 고려하되, 구조적으로 유리한 형상으로 결정하여야 한다.
- 6) 시공허용 편차는 지반조건 및 터널단면 형상에 따른 지반의 최종 허용변위량과 굴착공, 지보공 및 내부라이닝 콘크리트의 시공오차와 슛크리트의 표면 및 록볼트의 두부처리에 필요한 여유를 감안하여 결정하여야 한다.
- 7) 동일 작업구간내의 터널내공 단면은 가급적 동일한 규격 및 형상으로 표준화하여 시공성을 높일 수 있도록 계획하여야 한다.

### 1.4 방수계획

- 1) 방수방식에는 터널 전주면중 일부분에 지하수의 유입경로를 만들어 터널내부를 유입수를 배수시키는 배수형 방수방식과 터널전주면에 방수재료를 설치하여 지하수가 터널내부에 유입되는 것을 차단하는 비배수방식으로 구분한다.
- 2) 방수방식은 지형, 지상 토지이용현황, 토피정도, 지하수의 특성 및 수위, 터널 통과부 지반 조건, 암피복두께 등 현장여건과 터널형상 및 규모 등의 터널조건을 감안하여 공사의 시공성 및 경제성, 유지관리성 등을 종합 검토하여 결정하여야 한다.
- 3) 비배수방식의 터널에는 터널시공 특성에 부합되는 방수공법 및 방수재료를 선정하여야 하며 수압에 충분히 지지할 수 있는 내부 라이닝구조물을 계획하여야 한다.
- 4) 배수형 방수방식의 터널에는 원활한 배수계통과 배수단면을 확보하여야 하며 유지관리상 배수계통의 기능확인 과 보수가 용이하도록 계획하여야 한다.

### 1.5 부속설비계획

- 1) 터널의 부속설비는 운영시 유지관리용 영구관리용 영구설비와 공사중 시공을 위한임시설비로 구분하여 계획하여야 한다.
- 2) 부속설비의 계획에는 기능의 부합성과 함께 경제성 및 유지관리성을 종합적으로 검토하여 수립하여야 한다.
- 3) 일반적인 영구설비에는 공조설비, 전기설비, 급배수설비, 방재설비, 보안설비, 종사원의 점검설비, 대피설비 등이 있으며 영구설비 계획에는 터널의 목적 및 기능에 따라 설비종류 및 적정 규모를 결정하여야 한다.
- 4) 공사용 임시설비에는 자재저장시설, 자재반입 및 버력처리 설비, 용수 및 배수설비, 환기 및 집진설비, 수배전 설비, 방음 및 방진설비, 슛크리트 배합및 타설설비 등이 있으며 설비종류 및 규모 결정은 공사규모 및 시행공법, 공사기간, 현장 여건 등을 고려하여 결정하여야 한다
- 5) 환기설비는 환풍기에 의한 강제환기방식을 원칙으로 하며 급배기를 병용하여야 한다.

## 1.6 계측계획

- 1) 터널의 계측관리계획은 공사중의 안전관리를 위하여 시행되는 임시계측과 터널준공후 운영중의 안전을 확인하기 위하여 시행되는 영구계측으로 구분하여 수립되어야 한다.
- 2) 운영중 시행되는 영구계측은 터널의 기능과 중요도에 계측의 목적을 정하고, 목적에 적합한 계측계획을 별도로 수립하여 시행토록 한다.

## 2. 조사 및 시험

터널의 조사는 초기의 노선계획 단계에서 부터 공사단계에 이르기까지의 과정에서 목적에 따라 실시되는데, 조사의 목적은 안전하고 경제적으로 터널을 시공하는데 필요한 기초자료를 구하는데 있다. 얻어진 자료를 토대로 지반조건에 적절한 굴착방법, 지보패턴, 공기, 공사비가 결정된다. 공사계획 수립을 위하여 지질조사, 수문조사 및 필요에 의한 조사를 실시하여 터널 및 그 주변의 지반조건을 명확히 파악하여야 한다. 조사는 터널의 위치선정, 설계, 시공 및 완성 후의 유지관리에 중대한 영향을 미치는 사항이므로 충분한 기초자료를 얻는데 만전을 기하도록 하여야 한다. 조사에서는 터널의 목적 과 규모 등을 충분히 고려하여 조사내용, 순서, 방법, 범위, 정밀도 및 기간 등을 결정하여야 하며 터널 설계 및 시공에의 적용방법 등을 유의해서 조사성과를 표현하여야 한다. 지반조사는 터널건설의 기본계획 및 노선선정을 위한 예비조사, 터널노선의 결정이후 공사착공까지의 설계와 시공계획을 위한 본조사 및 시공중의 보완조사 의 단계로 구분하여 실시한다. 입지환경조사는 터널건설에 영향을 미치거나 터널건설로 영향을 받을 수 있는 사항에 대한 조사로

서 지형, 환경, 지장물, 지표수리시설과 지하수 부존특성, 공사용 설비, 보상 및 관계법규조사를 포함한다.

## 2.1 입지환경조사

### 2.1.1 지형측량 및 조사

터널건설에 영향을 미치거나 터널공사로 영향을 받을 수 있는 지형은 지형도나 항공사진, 위성사진 등을 이용하여 분석하고 현장 답사를 통하여 조사하여야 한다. 특히 불안정 지형이나 재해가 예측되는 지형 즉, 애추(Talus), 붕괴지와 산사태, 눈사태, 홍수등이 이미 발생한 장소나 발생 우려가 있는 지형은 반드시 조사하여야 한다.

### 2.1.2 환경영향조사

터널의 시공과 운영이 환경에 미치는 영향을 최소화 하기 위하여 자연환경, 사회환경, 생활환경 등을 조사하여야 한다. 환경조사는 기본계획 및 노선선정 단계에서 실시하는 광역환경조사와 시공계획수립후 실시설계단계에서 수행하는 터널주변 환경조사로 구분하여 실시한다.

- 1) 광역환경조사는 노선선정단계에서 터널 공사용설비, 운반도로를 중심으로 영향이 예상되는 범위를 대상으로 공사실시전의 상태를 파악하고 공사실시에 의한 영향을 예측 평가하기 위해 실시한다. 시공단계에서는 주변환경에 대한 공사의 인과관계를 검토, 영향을 최소화 하기 위한 대책을 세우고 그에 대한 효과를 확인하기 위해 실시하는 경우가 많으므로 주로 문제발생지점을 포함하는 범위를 대상으로 한다.
- 2) 터널주변 환경조사는 터널의 시공과 운영이 환경에 미치는 영향이 최소화 되도록 하기 위한 계획 입안을 목적으로 행하는 조사와 터널시공에 의해 생기는 터널주변 환경변화의 예측, 환경보전대책의 입안, 대책효과의 확인을 위해 행하는 조사로 나눌수도 있다. 설계, 시공계획의 단계, 시공의 단계 및 운영후에 실시하는 조사는 환경보전상 문제가 되는 지역에 대하여 주로하며 생활환경 등에 대한 항목에 대해서 상세한 조사를 하여야 한다.
- 3) 갈수, 소음, 진동, 지반침하 등은 공사중 혹은 운영중에 발생이 예상되는 조사로서 착공 전후 또는 운영개시전후의 상황에 대비가 중요하므로 영향이 예상되는 범위의 조사는 공사의 착공에 선행하여 착수하고 그 후의 변화는 문제점이 판명될 때 까지 계속하여 행하는 것이 바람직하다.
- 4) TBM을 적용하기 위해서는 TBM 장비 운반을 위한 도로종류와 등급, 교통상황, TBM 조립과 해체를 포함한 공사용 부지, TBM에 소요되는 전력 및 용수에 대해서도 추가로 조사하여야 한다.
- 5) 공사에서 발생하는 폐기물의 처리는 관계 법규를 사전에 충분히 파악하고 최종처분지의

위치, 운반방법, 처리방법 등을 조사하여야 한다.

- 6) 작업시설의 설치와 공사차량의 통행 등이 주변의 일반교통에 미치는 영향을 파악하기 위해 교통량조사를 하여야 한다.

### 2.1.3 수문조사

터널공사에 수반하는 터널내 용수 및 지표수, 지하수의 영향을 예측하고 대처하기 위하여 필요한 수문조사를 하여야 한다.

- 1) 터널에 있어 수문조사는 막장의자립성, 터널내 용수의 형태와 규모, 감.갈수의 영향범위와 규모, 배수구나 양수시설 등의 계획, 설계의 평가, 검토를 가능하게 자료를 제공하도록 하여야 한다.

가) 수리지질, 수문환경, 사례조사결과에 따라 다음 항목에 대하여 예측하고 대상지역의 지하수정보를 평가하여 사전조사와 비교검토하여야 한다.

- 지하수위의 분포
- 대수층 특성
- 터널내의 용수상태와 용수량

나) 시공을 저해하는 주요 요인인 파쇄대의 특성과 분포 및 용수에 대한 예측을 하여야 한다. 일반적으로 단층등의 파쇄대는 양호한 대수층을 형성하므로 이 구간을 굴착하는 경우, 고압용수가 돌출하여 사고를 일으키기도 하며 집중용수는 막장으로부터의 대규모의 토사유출, 지표침하 및 함몰 등의 원인이 된다. 유출수는 대수층의 규모, 수리적 성질, 지질구조, 투수성, 지하수위, 수압 등에 따라 발생빈도와 규모가 다르지만 터널 중심선상의 지형형상, 단층, 투수성 지층의 분포특성으로 미루어 가능성을 예측할 수 있다. 또한 부분적인 막장전방의 굴진진행에 따른 용수량 및 용수압의 시간적 변화상태는 막장전방 상황을 예측하는데 귀중한 자료가 된다. 시공중의 조사사항중 터널 완성후에도 보상과 관련하여 계속 조사가 요구되는 대상도 있으므로 그 점에 유의하여야 한다.

- 2) 터널굴착에 따른 지하수계의 영향은 터널로의 용수와 지표에서의 감수 및 갈수 형태로 나타나는데 다량의 터널내 용수는 지반의 성질을 악화시켜 굴착작업에 영향을 주며, 막장의 붕괴유출, 토압 증대의 원인이 되며 시공의 안전성과 경제성에도 매우 중요한 문제이다. 지표에서의 감. 갈수는 주변우물의 고갈과 농업용수의 변화를 유발하고 지역생활과 주변환경의 보존상 중요하다. 수문조사에는 터널내 용수와 지표의 감. 갈수를 종합적으로 예측하는 것이 중요하다.

- 3) 일반적으로 지반이 연약하면 굴착중의 용수방지를 위하여 광범위하고 정밀한 사전조사를 실시하고 상황을 파악하여야 한다. 용수에 의한 감수나 갈수를 사전에 정확히 예측하는 것은 불가능하므로 시공을 통하여 사전의 예측이나 실제상황을 비교하여 보다 정확히 터

널내의 용수, 지표의 갈수 등을 예측하고 설계변경, 시공관리, 보상 등을 위한 자료를 얻도록 하여야 한다.

4) 조사결과를 기초로하여 다음 사항을 예측하고 평가한다.

가) 터널내용수와 그 집수범위

터널내 용수는 굴착초기에 집중적으로 유출되거나 장기적으로 유출하는 것으로 구별되며 이러한 용수상태나 용수량 및 그 집수범위는 주로 지하수를 부존하는 대수층의 구조와 투수계수, 저류계수 등 대수층의 특성에 영향을 받는다. 터널노선이 단층과 교차하는 경우에는 단층방향으로 영향이 확대되며 터널이 중간에서 지하수로와 교차하는 경우에는 하류측으로 물의 보급이 현저히 감소되므로 갈수가 하류측에서 크게 확대된다.

나) 강우와 하천유량, 지하수위, 용수량과의 관계

㉠ 지하수와 지표수 및 강수의 시간적 관측기록을 기본으로 대상지역의 물성치를 구하여 시뮬레이션법 등에 의해 터널굴착에 따른 지하수거동을 예측한다. 강우 후의 하천 유량의 감소현상을 구하여 지반의 보수성을 검토하며 갈수기의 계류는 대부분 유역의 지하수에서 흘러나오고 그 수량은 상시 용수량과 밀접한 관계가 있으므로 이 갈수 유량과 지형에서 예상되는 집수범위로부터 터널의 상시 용수량을 추정한다.

㉡ 갈수예상지역의 우물, 저수지, 용천, 하천 등에 대해서는 그 분포, 수량의 계절적변화, 이용 상황 등을 조사하여 갈수대책자료로 이용하며, 이 경우 예상밖의 위치에서 갈수가 생길 수 있으므로 될 수 있으면 광범위하게 조사해두는 것이 좋다.

㉢ 용수로 인한 막장의 불안정과 이에 대처하는 보조공법및 특수공법을 검토하여야 한다.

## 2.1.4 지장물조사

지장물조사는 터널건설에 직접 지장이 있거나 영향범위에 있는 지상과 지하의 제물건을 조사하는 것으로서 터널노선 선정과 공사시공계획에 필요한 자료를 얻기위하여 공사시공전의 계획단계에서 먼저 개략조사를 하고 그 후 공사실시 단계에서 필요에 따라 정밀조사를 한다. 터널공사전에 지역내에 기설치되어 있는 건물, 교량, 노상 시설물 등의 지상구조물이나 상하수도관, 송유관, 통신 및 전력케이블, 도시가스관, 지하갱도 등의 지하 지장물의 종류, 심도 및 크기연장등을 파악하여 안전한 시공을 할 수 있도록 하여야 한다.

## 2.1.5 사토장조사

사토장계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 원지반조건, 사토장이 주변환경에 미치는 영향등 필요한 사항에 대하여 사전에 조사해두어야 한다.



- 1) 공사중에 발생하는 버력을 처리하기 위한 사토장이 필요할 때에는 지형, 운반방식, 운반거리, 운반도로의 교통규제, 교통안전 등의 운반조건, 사토장이 주변환경에 미치는 영향, 사토의 안정성, 사토 후 토지의 형태 변화, 법규에 의한 규제 등을 사전에 조사하여야 한다.
- 2) TBM굴착공사중 발생하는 버력량을 산정하여 작업장내에서의 임시 사토장 규모 또한 검토하여야 한다.

## 2.1.6 공사용설비조사

공사용 설비계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 지형·지질 및 기상조건, 주변환경에 미치는 영향등 필요한 사항에 대하여 조사하여야 한다.

- 1) 공사용 설비로는 터널입구 설비, 환기 및 집진 설비, 운반설비, 골재 및 콘크리트 플랜트 설비, 수배전 설비, 용배수 설비, 임시건물 설비 등이 있다
- 2) 공사용설비의 소음, 진동, 배수 등이 주변환경에 미치는 영향, 공사용전력공급을 위한 송배전선의 용량, 주파수, 전압, 수전까지의 소요시간, 발전설비 등의 동력원, 공사용 장비운용시의 소요전력량 등을 조사하여야 한다.

## 2.1.7 보상조사

공사를 하기위한 용지취득 및 공사를 위한 권리의 취득 등 보상대상사항에 대해서 조사하여야 한다. 터널공사에 있어서의 보상대상으로서는 용지취득에 따른 토지, 건물, 수목 등의 매수 및 이전, 각종 권리 (지상권, 지하권, 수리권, 온천권, 광업권, 채석권 등)의 침해, 농림 수익의 감소, 영업 손실, 공사중 또는 공사완료후의 공사로 인한 침하, 갈수 등에 의한 손실보상 등이 있다. 이들의 보상을 위한 명확한 자료를 얻기위하여 착공전의 제반사항에 대하여 충분히 조사를 하여야 한다.

## 2.1.8 관계법규조사

공사계획에 있어서 규제하는 법규의 유무, 내용, 절차, 대책 등에 대하여 사전에 조사하여야 한다. 터널건설에 있어서 법규에 의한 규제를 받는 경우가 있으며 경우에 따라서는 부득이 계획을 변경해야 하는 경우도 있으므로 미리 공사에 미치는 영향의 범위, 공사에 대한 규제의 정도, 수속, 대책 등에 관하여 충분히 조사하여야 한다. 관계관청에 대한 제반수속 및 인허가, 승인에는 상당한 시일이 필요한 경우가 있으므로 이점을 충분히 고려하여야 한다. 터널공사를 규제하는 주된 규제법에는 다음 표 2.1.1에 예시한 것들이 있다.

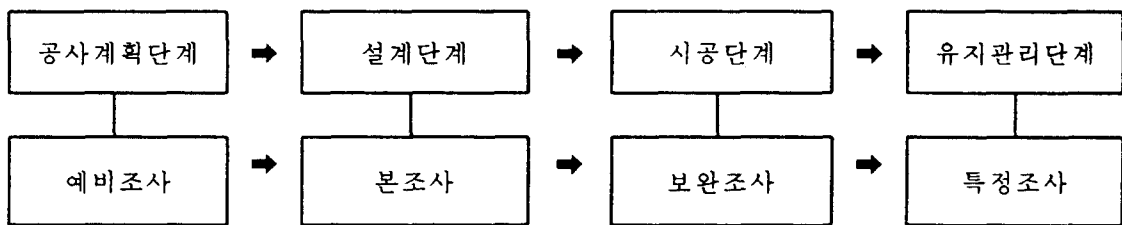
표 2.1.1 터널공사 관련 규제법규

구분	규제법
공해방지 및 환경보전 관계	자연환경보전법, 자연공원법, 산림법, 소음진동규제법, 수질환경보전법, 상수도법 및 하수도법, 광업법
재해방지 관계	사방사업법, 택지개발촉진법, 농어업재해대책법, 풍수해대책법
국토개발관계	국토건설종합계획법, 국토이용관리법
하천관계	하천법, 공유수면관리법, 지하수법, 온천법
도시계획 관계	도시계획법, 도시공원법
도로, 교통 관계	도로법, 도로교통법, 철도법
군사관계	군사기밀보호법, 군사시설보호법
문화재 관계	문화재 보호법, 전통구조물보존법
안전관계	시설물 안전에 관한 특별법, 건설기술관리법, 산업안전 보건법

## 2.2 지반조사

지반조사는 예비조사, 본조사 및 보완조사 등의 순서로 행하여지며 본조사 또는 보완조사시에 정밀조사를 수차에 걸쳐서 실시할 수도 있다.

1) 공사단계별 지반조사의 순서는 다음과 같다.



2) 예비조사는 부지선정과 노선이나 구조물 위치결정을 위하여 넓은 범위를 대상으로 수행하며 기존자료검토, 항공사진 판독 및 분석, 현장답사 등을 실시하여 활성단층, 불안정한 사면 등의 분포상태등 개략적인 지반특성을 파악하는 것을 목적으로 한다. 조사결과 지반장애물로 인한 위험도가 높은 지역에 대하여서는 사운딩이나 시추조사를 실시한다.

3) 본조사는 개략조사(기본설계단계)와 정밀조사(실시설계단계)로 구분된다.

가) 기본설계단계에서는 부지나 노선 또는 구조물의 위치를 결정할 수 있도록 물리탐사, 사운딩 및 시추조사를 포함하는 지반조사를 실시하며 시험을 통하여 기초지반의 공학

적 특성을 평가한다.

나) 실시설계단계에서는 구조물의 위치, 설계조건을 최종적으로 확정하기 위하여 시추, 사운딩, 시험터널, 현장 및 실내시험 등의 정밀조사를 실시한다.

다) 전단계의 조사에서 부족한 점이 있으면 이 단계에서 정확한 지반정보를 얻기 위하여 조사항목을 추가하며 연약과쇄대 등이 예상되는 지역에 대하여 조사빈도를 증가하여 보다 정확한 지반정보를 얻도록 한다.

#### 4) 시공단계에서의 조사

가) 시공중 노출되는 지반의 상태를 관찰하여 예기치 않았던 지반의 변화나 시공중의 계측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가조사와 시험을 실시한다.

나) 설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사자체가 한계성이 있으므로 필요한 경우 수평보링등에 의하여 정밀조사를 실시하고 설계를 보완하여야 한다.

5) 유지관리시 구조물에 이상이 발생하는 경우 또는 안전에 문제가 있다고 판단되는 경우에는 그 원인을 규명하고 보수, 보강대책을 수립하기 위하여 특정 목적의 지반조사를 수행하여야 한다.

## 2.2.1 기존자료조사

기존자료를 세밀히 조사 분석하여 사업계획지역의 지형·지질조건등을 개략적으로 파악하여 원활한 현지답사계획을 준비하고 후속 조사계획을 수립하는데 참고한다. 기존자료조사는 주로 항공사진, 인공위성사진, 지형도, 고지형도, 지질도, 지하매설도, 터널지역을 포함한 광역조사자료 등으로 부터 정보를 얻도록 하여야 한다. 각 자료로 부터 얻을 수 있는 정보를 정리하면 다음 표 2.2.1과 같다.

## 2.2.2 현지답사

현지답사의 목적은 현장을 직접 방문하여 지형이나 지반상태를 확인하거나 지역주민들로 부터의 청문을 통하여 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인하여 도상 계획에 참고하고, 조사 수행에 영향을 줄 수 있는 제반 현장 여건을 확인하여 원활한 계획을 준비하는 데 있다. 현장답사는 경험있는 토질 및 지질기술자는 물론 사업을 총괄하는 감독요원이 함께 수행하는 것이 바람직하다. 현지답사의 결과를 잘 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 하여야 하며 이미 계획된 사항에 대해서는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 하여야 한다. 현장답사중 유의사항은 계획된 구조물의 위치를 확인하여 불량한 지반에 위치하였을 경우 이를 양호한 지반으로 이동시키거나 설계자로 하여금 구조물의 형태 및 규모 등을 조정할 수 있도록 하여야 한다.

표 2.2.1 기존자료조사의 내용

조사대상	조 사 내 용	자료구입처
기존 구조물	기존구조물의 배치, 설계도면, 시공관련자료, 현상태 등을 검토함으로써 개략적인 주변 지반조건, 지지력, 등을 파악	현장답사 사용주 탐문
인접지역 조사자료	인접지역 조사자료를 활용하여 조사지역의 지반의 종류 및 조건, 지하수 분포상태 등을 파악	구.군청 인접구조물의 소유자.설계자 한국자원연구소
지형도 항공사진 고지형도	지형도상의 지형상태를 관찰하여 개략적인 지반 및 지질조건 분포상태를 추정할 수 있으며 시추, 골재원, 토취장, 또는 채석장 등의 조사에 활용하고 차후 현장조사시의 시추의 위치, 시추장비의 진입가능성 및 시추용수의 취득가능성 등을 파악. 항공사진과 고지형도를 이용하여 현재 및 과거의 지형상태를 조사하여 지반상태를 추정	중앙지도문화사 산림청 국립지리원
지질도	지층의 분포상태, 지질구조선(단층, 습곡, 절리, 선구조, 공동 등)의 발달유무 등을 확인하고 조사위치나 심도 등 조사계획 수립에 반영	한국자원연구소
착정기록	지하수개발을 위한 착정기록 등은 지하수발달상태, 정확한 지하수위 등을 기술하고 있어서 지하수 특성파악이 가능	농어촌진흥공사 우물소유주

표 2.2.2 현장답사시에 관찰할 사항

대상구분	주 요 관 찰 사 항
지형변화	옛 제방흔적과 범위 및 수로, 철도, 성토 매립 등의 흔적이나 상태, 산사태 지형을 표시하는 지역에서는 미끄러짐이나 붕괴흔적 등 활동이나 그범위. 주된 지질분포
지표수 및 지하수	용수,우물에 대한 지하수위와 그의 계절적 변동, 호우, 강설시 등의 저수, 배수의 상태
인근구조물 유지상태	도로, 철도의 제방, 교대 및 교각, 기타의 중요 구조물의 침하균열이나 경사도, 굴곡 등의 변상 유무
지하매설물	상하수도, 가스관, 통신 및 전력케이블, 공사현장 부근에 있는 경우는 그 영향의 정도, 매설기초 등
수송통로	트럭, 중차량의 출입의 제한 유무, 도로의 교통상황, 소음·진동,공해등

삽 또는 핸드 오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역전반에 걸친 개략적인 지반조건을 조사하여 시추계획에 반영하여야 한다. 현장답사시 조사하여야 할 주요내용은 표 2.2.2와 같다.

### 2.2.3 지표 지질조사

지표 지질조사는 현장 정밀조사 이전에 지형, 지층분포, 지질구조, 암석노두, 토질, 지하수, 등에 관하여 개괄적으로 파악하여 본조사를 실시할 때에 기존자료로 활용하고 본조사의 경제적 및 시간적 효율을 높이기 위하여 실시한다.

- 1) 지표 지질조사를 통하여 지층의 분포와 단층, 습곡, 절리 등 지질구조도를 작성하고 암석의 분포상태나 특성을 파악하여 지질재해의 가능성 등을 검토하며 필요에 따라 지질공학도(Engineering Geological Map)를 작성한다.
- 2) 지표지질조사는 축적이 1/25,000 ~ 1/50,000의 지형도를 이용함을 원칙으로 하나 목적 및 정밀도에 따라 축적을 정하여야 한다.
- 3) 지표 지질조사시의 세부조사사항은 다음 표 2.2.3과 같다.

표 2.2.3 세부 지질조사항목

구 분	세 부 조 사 항 목
표층구성	표토, 풍화토, 퇴적물의 종류(하상퇴적물, 선상지 퇴적물, 단구 퇴적물, 붕괴 퇴적물, 화산분출물) 등의 분포상태 및 구성물질, 두께, 고결정도, 함수상태, 투수성, 유동성 등
암 질	암석의 종류, 조암광물과 배열, 변성도 및 풍화도, 변질대 등
지질구조	지질분포, 지층의 성층상태, 주향과 경사, 층리, 엽리, 절리, 습곡, 단층, 파쇄대
지표수·지하수	지하수의 유무상태, 지하수의 부존상태, 수온, 수질, 대수층의 구성, 지하수위, 대수층과 지질과의 관계, 용수상황 등
지하공동	자연공동(석회동굴등), 광산갱도, 폐광 등의 과거 갱도
암반거동	팽창성 및 유동성 지반의 유무나 분포상태, 용수에 의한 붕괴 가능 지반의 유무와 분포범위, 편압가능성 등

### 2.2.4 시추조사

터널노선 구간에 대하여 지반의 구성상태, 지층의 두께와 심도, 층서, 지반구조 등 제반자료를 획득하고 실내시험을 위한 시료채취 및 투수시험, 각종 검증, 현지응력 등의 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 실시하여야 한다.

- 1) 시추는 원칙적으로 NX 구경(코아 직경 54mm)이상으로 이중 코아베럴을 사용하여 실시하며, 풍화대나 파쇄대 등에서는 코아의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코아베럴이나 D-3 샘플러 등을 사용하여야 한다. BX 구경의 시추로는 시료채취가 불량하여 연약한 암석은 시료채취가 어렵고 터널설계시 실제로 중요한 정보인 취약한 단층파쇄대 등의 존재를 파악할 수가 없고 RQD의 적용상 문제점이 있다.
- 2) 시추는 원칙적으로 수직으로 실시하되 조사목적과 현장조건을고려하여 최대한의 지반정보를 얻기 위해 경사시추 또는 수평시추를 실시할 수 있다. 경사시추는 기반암에 발달한 절리, 단층, 공동 분포상태를 확인하기 위하여 실시하거나 토층이나 기반암층에 앵커를 설치할 경우에도 실시한다.
- 3) 시추공의 간격은 지형이 험준하고 시추심도가 상당히 깊어지는 경우 양쪽 터널입출구 쪽에서 시추를 실시하고 시공 중에 수평시추를 실시하여 지반상태를 확인 하도록 하여야 한다. 험준한 산악지형으로 인하여 충분한 시추조사가 불가능한 경우에는 전기비저항탐사 등과 같은 물리탐사방법으로 대처하도록 한다.
- 4) 시추심도는 원칙적으로 터널 바닥에서 터널 최대 직경의 1배 이상의 깊이까지 실시하되 특정한 목적을 위하여 필요한 경우 심도를 증가할 수 있다.
- 5) 시추조사의 결과는 조사목적에 부합되도록 적절하게 정리하여 시추주상도로 작성하여야 한다. 또한 시추코아는 상자에 넣어 보관하며 이를 정면에서 직각으로 천연색사진으로 촬영하여 사진관찰이 가능하도록 하여야 한다. 시추주상도에는 암석명, 색깔, RQD, TCR, N치, 지하수위, 절리간격과 경사, 절리면의 상태, 입자크기, 시추수 회수여부 등을 기재하도록 하여야 한다.
- 6) 코아 채취율이 암질에 관계되나 이것만으로 암반을 평가하는 것은 위험이 따르므로 RQD(Rock Quality Designation)와 함께 점하중강도지수(Point load index)에 의한 평가를 시행하는 것이 바람직하다.
- 7) 시추조사시 지하수조사를 위한 영구 관측공을 필요에 따라 설치할 수 있다.

## 2.2.5 시험터널 조사

특수한 지반상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정의 계측, 원위치시험을 실시할 필요가 있을 때에는 설계단계의 지반 조사시에 시험터널을 굴착하여 조사한다

- 1) 팽창성지반, 함수미고결지반 등의 특수 지반에 있어서 지반조건, 단층 파쇄대 등의 특수 지질 조건을 상세히 조사할 필요가 있을 때 또는 지보 패턴의 검토 등 설계시공에 직접 관련된 정보를 얻기 위해 필요한 경우 시험터널 조사를 한다. 조사 항목으로는 다음과 같은 것이 있으며 목적에 따라 필요한 항목을 선정한다.

- 지반상태(지질분포와 구조, 자립성, 지반의 탄성과속도, 지압, 초기응력 등)

- 용수 (용수량, 수압, 수질, 투수계수)
  - 지반물성(전단강도, 지내력 등)
  - 지보재 및 지표변위
  - 기타(발파진동, 암석시료채취 등)
- 2) 시험터널 내에서 목적에 따른 조사, 각종 원위치 시험이나 계측을 실시할 수 있으며, 필요에 따라서 교란 또는 불교란 시료를 채취할 수 있다. 시험터널의 위치, 길이, 단면, 굴착 방법, 조사항목 등은 목적에 따라 필요한 항목을 선정하여 조사하여야 한다.
- 3) 시험터널 조사시에는 터널의 지질공학도를 작성하여 종합분석에 참고한다.

## 2.2.6 물리탐사

- 1) 물리탐사는 지반의 물리적 성질을 이용하여 지하의 지질구조 및 상태를 파악하는 방법으로써 일반적으로 지표에서 시행되나 보다 정밀한 자료를 획득하기 위해서 시추공내에서 실시할 수 있으며 지반정보를 얻기 위해 실시하는 물리탐사 기법은 반드시 현장 적용성을 검토하여야 한다.
- 2) 토목지질조사에 있어서 지구물리탐사는 중력탐사, 자력탐사, 전기탐사 및 탄성파탐사 등 적용방법에 있어서의 제한이 없으나 대체로 탄성파탐사와 전기탐사법이 비교적 많이 사용되고 있으며 그 중에서 특히 탄성파굴절법과 전기비저항 방법이 많이 사용되고 있다.

### 가) 탄성파 굴절법탐사

- ㉠ 발생원으로부터 전파된 탄성파가 지층 경계면에서 굴절하여 수진기에 도달된 파를 분석하여 표토층과 기반암의 탄성파속도 및 심도를 알 수 있는 방법이다. 또한 반사법 탄성파탐사는 발생원과 여러개의 수진기의 배열을 결정하여 이러한 배열을 일정한 간격으로 이동하면서 측정하는 방법으로 단층, 습곡, 파쇄대 등을 파악할 수 있는 탄성파 단면도를 얻어내는 방법이다.
- ㉡ 대개 암석에 있어서 탄성파인 압축파(P파)와 전단파(S파)의 속도, 진폭, 주파수 등은 암석의 역학적 특성에 관한 정보를 제공할 수 있다. 예를들어 암반의 파쇄가 심한 지역과 암반이 거의 파쇄되지 않은 지역의 탄성파속도, 진폭, 주파수는 서로 매우 다르게 나타난다. 이와같이 탄성파속도로부터 지반의 고결, 균열, 풍화, 변질정도 등을 추정하여 지반특성을 정량적으로 구할 수 있다.
- ㉢ 터널의 조사에서는 일반적으로 굴절법에 의하여 종파의 도달시간을 측정하여 행하는 것으로 한다.
- ㉣ 탐사축선의 위치, 길이, 수, 분할축선길이, 측정간격 및 파원의 위치는 터널길이 및 토피, 지형, 지질, 환경조건을 충분히 고려하여 선정하여야 한다.  
탐사축선은 보통 터널계획선을 주축선으로 하여 부축선은 주축선에 평행 또는 교차

하게 선정한다. 부측선은 터널부근, 파쇄대, 단층, 표층퇴적층이 두터운 지역, 지층의 경계를 명확하게 하고자 하는 지역, 단층이나 암맥의 방향과 연속성을 알고자 하는 지역 등 지질적인 문제가 예상되는 지역이거나 주측선의 해석에 주요한 보조가 된다고 판단되는 지역등에 선정한다.

㉔ 다음과 같은 지반에서는 해석상 문제가 있기 때문에 암석자료, 지질답사, 시추조사 등의 다른 조사결과를 참조하여 해석하여야 하며 불명확한 점이 있는 경우에는 보고서에 명기하여야 한다.

- 지형의 요철이 심한 지반
- 미고결 모래, 자갈층 등이 혼합된 암질변화가 매우 심한 지반
- 사문암 지대와 같이 탄성과속도와 암반의 성질이 일치하지 않는 지반조건
- 탄성과속도가 큰 속도층이 저속도층의 상부에 위치하는 지반
- 주시곡선에 나타나지 않는 속도층이 존재하는 경우
- 파쇄대나 연약층 등이 완만한 경사를 이루는 경우의 경사각
- 단층이나 암맥등의 경사각
- 포화, 함수되어 있는 경우 지층의 판별
- Noise 가 있는 경우

㉕ 기타 문제점은 다음과 같은 것들이 있다.

국토의 대부분이 산악지형이므로 현장탐사의 수행이 대단히 어렵고 또한 산업화로 인하여 인공적인 잡음이 증대되어 양질의 자료를 위해서는 강한 음원이 요구되고 있다. 그러나 강한 음원인 화약은 과거보다 오히려 더욱 사용이 어려운 실정이다. 음원으로 해머를 사용하는 경우에는 산악지형에서는 지반상태가 양호하더라도 부식토가 깊게 쌓여있어 에너지 전과거리가 매우 짧다.

산악지형의 경우 측선이 경사면을 따라 올라가다 정상을 지나 내려가는 경우 내리막 측선에 있는 지오폰( Geophone)에서는 굴절과보다 직진과가 먼저 도달할 수 있어 해석에 문제가 발생한다. 현재와 같이 주시곡선으로만 해석할 경우 이러한 지형의 굴곡에 의한 영향을 고려할 수가 없다.

굴절법 탐사의 경우 수직적인 지층의 속도변화를 추정하는 데는 탁월하나 파쇄대와 같은 수평적인 지층변화는 감지가 힘들다. 특히 파쇄대가 수평경계면 아래에 있을 경우에는 이를 탐지하기가 더욱 어렵다. 터널통과구간에 대한 지반정보를 얻기위해서 지표에서 하는 방법으로는 전기비저항 탐사나 탄성과반사법 탐사가 있을 수 있고 보다 정밀하게 알기위해서는 시추공을 이용한 각종 토모그래피(탄성과, 레이다, 전기비저항) 방법을 사용하여야 한다.

나) 전기 비저항 탐사

땅에 접지시킨 한 쌍의 전류전극을 통하여 땅에 전류를 흘려보내고, 역시 접지한 한



쌍의 전위전극사이의 전위차를 측정하고 컴퓨터에 의한 해석 프로그램을 이용하여 비저항단면도를 만들어 지하매질의 전기비저항 분포를 알아내는 방법이다. 표토층과 기반암 사이의 접촉부에서는 비저항의 비가 매우 크기 때문에 전기 비저항탐사는 기반암과 표토층의 경계를 규명할 수 있다. 가탐심도는 근본적으로 전류가 지하를 통과할 수 있는 깊이에 좌우되지만 통상적으로 500m를 경제적 가탐심도의 한계로 간주된다.

전기비저항탐사는 국내의 지하수탐사에서 가장 많이 사용되었으며 파쇄대탐지의 성공률이 상당히 높은 것으로 알려져 있다. 국내 지질의 대종을 이루는 화강암내지 퇴적암의 경우, 대부분 공극률 및 투수율이 낮기 때문에 사암층과 같은 층서구조가 대수층이 되는 경우가 드물고 퇴적암내의 파쇄대가 중요한 대수층의 역할을 하게 된다. 국내 지질의 기반암을 형성하는 화강암이나 변성암 등은 모두 고비저항 영역에 속하며 이에 반하여 풍화대 및 토질층은 이보다 낮은 비저항을 보여준다. 이와같은 비저항 분포의 차이 때문에 비저항 영상법에 의하여 파쇄대는 물론 풍화대, 토질층의 영상을 얻을 수 있다.

- 3) 지표탐사에 비해 조사심도가 깊고 분해능력을 높이기 위해서는 시추공내에 송신원 또는 수신기를 삽입하여 실시하는 시추공 물리탐사 기법을 적용하는 것이 바람직하다.

가) 시추공 텔레뷰어

시추코아 샘플에서 파악하기 어려운 지역이나 파쇄대의 정확한 방향을 규명하기 위해서는 직접 시추공내를 촬영할 수 있는 시추공텔레뷰어를 사용하게 된다. 본 탐사는 시추공 내벽에 초음파(주파수 약 1 MHz)빔을 주사하여 그로부터 반사되는 초음파의 진폭 및 주시 즉, 진폭이미지 및 주시이미지를 분석하며 여기서 진폭이미지는 절리 및 단층의 발달상태 뿐 만 아니라 상대적인 암석강도에 대한 정보를 제시한다.

나) 단일시추공 레이더 탐사

시추공내에서 발견된 파쇄대의 방향 및 범위를 알기 위해서는 시추공으로 부터 어느 정도 거리까지의 정보를 얻을 수 있는 방법이 필요하다. 시추공 레이더 탐사는 시추공 주변의 암반의 상태 및 전기전도도에 따라 레이더의 전파범위가 결정된다. 보통 신선한 암반에서의 가탐범위는 시추공으로부터 약 100m 내외 정도이다. 따라서 시추공 radar 탐사는 미세한 파쇄대의 위치, 범위 및 방향을 mapping 하는데 매우 효과적인 방법이다.

다) 지오토포그래피(Geotomography) 탐사기술

지표물리탐사로는 분해능(resolution)의 한계 때문에 미세한 지질적인 정보를 얻을 수 없는 경우, 두 개의 시추공사이의 가장 정밀한 지질적인 정보를 얻을 수 있는 방법으로 의학계에서 많이 이용되는 CT(Computer Tomography) 촬영의 원리를 지구물리에 적용한 지오토포그래피기술이 있다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 지오토포그래

피에는 탄성파, 레이더 및 비저항 토모그래피가 있다.

- ㉠ 탄성파토모그래피에서는 하나의 시추공에는 탄성파 발생원 장치를, 또 다른 시추공에는 수신기 장치를 삽입하여 여기서 탄성파의 발생원은 시추공내부에서 그 위치를 이동하면서 탄성파를 발생시킨다. 각 발생원 위치에서 생성된 탄성파는 지하 사방으로 전달되고 그들은 또 다른 시추공에 삽입된 각 수신기에 도달하게 된다. 시추공사이 지질단면에서 얻은 탄성파속도 분포로부터 암층의 구분과 지질구조대를 파악할 수 있다. 시추공 발생원장치에 부착되는 뇌관은 탄성파탐사전용 뇌관을 사용한다.
- ㉡ 레이더토모그래피에서는 탄성파와 레이더에서 사용되는 역산의 원리는 동일하나 탄성파와 레이더의 전파특성에 따라 가탐범위와 분해능이 서로 다르다. 즉 탄성파는 주파수의 범위가 수백 Hz, 레이더는 20 ~ 120 MHz 를 사용하기 때문에 탄성파의 전파범위는 레이더보다 넓다고 할 수 있으나 분해능이 레이더의 경우보다 떨어지기 때문에 탄성파토모그래피는 시추공간 거리가 먼 경우의 전체적인 지질정보를 얻는데 효율적이라 할 수있고 레이더토모그래피는 미세한 파쇄대 및 세밀한 지질적인 정보를 얻는데 효율적이라 할 수 있다.
- ㉢ 비저항토모그래는 시추공내의 전류전극 및 전위전극을 설치하여 측정된 자료로부터 시추공사이 단면의 비저항 분포를 역산하는 방법으로 암반조사, 기타 정밀을 요구하는 탐사에 많이 사용된다.

## 2.2.7 시공중의 조사

시공중의 지반조사 목적은 막장 전방과 막장 주변의 지반상태를 파악하는 데 있으며 시공중 관찰되는 노출된 지반의 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반변화나 시공중의 계측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가조사 및 시험을 실시하여야 한다.

- 1) 대심도 지하구조에서는 설계단계에서 정밀조사를 수행하는 경우 조사경비가 너무 많이 소요되므로 시공중 수평보링등에 의하여 정밀조사를 수행하고 설계를 보완한다.
- 2) 현장 기술자는 공사시에는 노출되는 지반상태를 관찰하고 조사하여 터널내 지질도를 작성하고 설계시에 적용한 지반조건과 비교하여 검토하여야 한다.
- 3) 실제 지반상태가 설계시의 적용조건과 상이하여 설계보완이 필요한 경우는 정밀한 보완조사를 실시하여야 한다.
- 4) 보완조사는 시추조사, 제반시험, 물리탐사 등을 포함할 수 있으며 그 세부항목과 내용을 지질기술자와 협의하여 결정한다.
- 5) 시공중에 중대한 지장을 줄 염려가 있는 파쇄대나 함수미고결층 등이 막장 전방에 위치하고 있는 것으로 예측될 경우에는 지질조사와 막장지반의 평가를 통하여 적절한 대책을 수립하여야 한다. 이 경우에 막장 또는 별도의 터널에서 장공시추를 실시하여 파악하거나

선진보링을 실시하여야 한다. 보조공법이 필요할 때는 채취된 시료의 실내시험, 시추공을 이용한 검층, 공내재하시험 등을 실시한다.

- 6) 시공중의 조사에 포함되는 터널내 정밀지질조사, 터널내 탄성파탐사, 선진보링 등을 통하여 지층의 종류와 암질 및 지질구조 등을 파악하고 지반물성치를 추정하여 시험이나 계측계획의 수립 및 실시에 도움되도록하여야 한다.

가) 터널내 지질관찰

터널굴착후에 양측벽이나 천단 및 막장을 관찰하여 암석의 종류와 경계, 암의 강도, 풍화정도, 균열의 간격과 상태, 단층상태, 용수상황 등을 조사하고 그 결과를 터널내 관찰조사 지질도(축적 1:100 ~200)으로 정리하여야 한다. 지질관찰의 결과에 따라, 암반분류를 명기한 지질종단면 또는 지질횡단면도를 작성하여 터널 주변의 지질상태를 명시하고 설계보완, 시공의 기초자료가 되도록 하여야 한다. 또한 지질조사 결과로 미굴착부의 지질상태를 추정하고 막장에서 굴착에 도움되게 하는 것이 바람직하다. 터널내 지질조사에서는 상세한 관찰이 가능하지만 터널내라는 한정된 범위내에서 조사하는 것이므로 결과해석에서는 지질구조단면도, 사전조사결과 등을 참고하여야 한다.

나) 터널내 탄성파 탐사

터널내 탄성파탐사는 일반적으로 터널벽면으로부터 이완된 영역의 범위를 조사하기 위해서 실시되고 있으나 최근에는 막장 전방의 파쇄대탐사에도 이용되고 있다. 터널내에서 측정되는 탄성파속도치는 암석시험편을 대상으로 구한 탄성파속도치와의 대비에 의한 지반의 균열정도 파악 등에 이용된다.

다) 선진보링

선진보링은 막장전방의 지질탐사외에 지하수 조사를 목적으로 하는 경우가 많고 시추공은 물뿔아 내기 구멍으로서도 이용되고 있다. 선진보링은 일반적으로 일시공사를 중단하고 막장 또는 주변에서 천공되지만 측벽이나 노반에 작업대를 설치하여 공사의 중단없이 천공하기도 한다.

- 7) TBM 굴착시에는 막장 관찰이 불가능하므로 TBM 운전실의 각종 계기에 나타나는 압력상태의 변화와 암버력의 편석상태 및 강도 등을 주의깊게 관찰하여 지반조건, 지반거동등을 예측하고 주변환경 변화에 유의하여야 하며 안전하고 적합한 시공이 될 수 있도록 필요한 조사를 실시하여야 한다.

## 2.3 현장 및 실내시험

### 2.3.1 현장 원위치조사

원위치 시험에는 지반의 강도특성을 측정하는 사운드링, 공내재하시험이나 전단시험 등 지반정

수의 측정, 현장투수시험 등의 지하수조사, 현장의 응력·변형측정 등이 있다.

- 1) 암반은 절리 등 불연속면의 영향을 크게 받기 때문에 암반 특성과 암반의 구성요소인 암석특성이 직접적으로 대응하는 경우가 적고, 실내시험에 의한 암석시험결과로부터 암반의 역학 특성을 추정하기 어려운 경우 불연속면을 포함한 암반을 대상으로 직접 원위치시험을 실시하는 것이 바람직하다. 자연상태의 현장 지반 특성을 파악하기 위한 현장 시험은 주로 시추공내 또는 시험터널내에서 실시하는데, 일반적으로 시추공내에서 수행하는 시험 항목은 다음 표 2.3.1과 같다.

표 2.3.1 시추공을 이용한 원위치시험

시 험 명	적용지반				측 정 치
	점토	사질토	역질토	암반	
표준관입시험	○	○	△	×	N치, 교란시료채취
지하수위측정	○	○	○	○	지하수위
현장투수시험	○	○	○	○	투수계수
간극수압시험	○	○	○	△	간극수압
공내수평재하시험	○	○	△	○	수평토압계수, 변형계수
수압파쇄시험	×	×	×	○	Ko값(측압계수)
각종물리검층	△	△	△	○	검층측정치
탄성파토모그래프	×	△	△	○	지반탄성파속도
시추공텔레뷰어	×	△	△	○	절리간격, 방향, 암질상태

○ : 최적, △ : 가능, × : 부적

- 2) 현장 원위치조사는 원칙적으로 한국산업규격(KSF)에 제시된 시험방법에 따라서 수행하여야 하나 동규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법으로 수행하여야 한다.

- 3) 주요 원위치 시험은 다음과 같다.

가) 표준관입 시험은 지반의 고결도, 지내력 측정을 목적으로 미고결 층에만 적용되는데 지반 변화가 있을 때는 심도 1.5m 이내 간격으로 실시하도록 한다.

나) 지하수조사에는 지하수위 측정, 양수시험, 수압시험 등이 있다. 지하수위 측정은 이 수 등의 영향으로 정확한 지하수위 측정이 어려운 경우가 있다. 장기적인 지하수 조사를 위하여는 영구 관측공을 이용함이 바람직하다. 현상 양수시험은 지반의 투수계수 및 저류계수를 파악하기 위하여 실시한다.

수압시험은 암반의 투수성을 파악하기 위하여 시추중 또는 시추완료후 실시하는 것으로 투수계수와 투존치(Lugeon value)를 구할 수 있으며 파쇄부분이나 미고결층은 측정기제설치가 불가능한경우가 있으므로 주의를 하여야 한다.

- 다) 공내재하시험은 주로 연암층 및 경암층에 적용되는데 지반의 응력~변형거동을 측정하여 설계입력자료인 지반의 변형계수를 구하기 위한 것으로 지반 및 지층의 형태마다 실시하는 것이 바람직하다.
- 라) 수압파쇄법에 의한 초기응력측정시험은 지반내에 작용하고 있는 지압의 크기와 방향을 파악하기 위하여 시추공내에서 실시하는 것으로 설계입력자료인 측압계수를 구할 수 있다. 수압파쇄시험은 시추공 카메라조사 결과, 시추공경 측정기에 의한 조사결과 및 Core logging에 의한 조사결과를 종합.분석하여 시험대상구간을 선정한 후에 실시한다. 여기서 구해지는 압력-시간 곡선으로부터 파괴역학적 선형탄성이론을 근거로 수압파쇄 균열의 거동을 조사하여 현지지반응력성분중 최대, 최소 수평주응력을 산정하고, 시추공 방향 측정기를 통한 균열방향 측정을 통해 각 주응력의 방향을 결정한다. 이때 수직방향 주응력은 상부피복압( $\sigma_v = \gamma H$ )으로 주어지며, 이로부터 측압계수(수평응력/수직응력) K 값을 계산한다.
- 마) 지반의 균열, 절리방향 및 경사, 공동, 지하수유출 위치 등을 확인하기 위하여 시추공 카메라에 의한 공벽관찰이 실시될 수 있다.
- 사) 기타 현지 암반을 대상으로 하는 시험법에는 직접전단시험, 평판재하시험, 암반삼축압축시험 등이 있으며 이외에도 현지 암반이나 암석을 대상으로한 시험방법으로는 다음과 같은 것들이 있다.

㉠ Schmidt hammer test

콘크리트나 암석의 일축압축강도나 탄성계수를 현장에서 간단히 측정하기 위하여 고안된 비파괴시험기이다. 암반의 절리상태, 암벽의 거칠기, 습윤도 등에 따라 측정치의 분산이 다소 심하며 암종에 따라 일축압축강도의 환산에 적지않은 편차가 나타나는 결점이 있으나 일본을 비롯한 선진국에서 널리 사용되고 있다. Schmidt hammer 는 해머를 스프링의 힘 즉 미리 압축한 스프링에 축적된 힘을 방출함으로써 해머가 암반표면에 부딪칠 때 그 반발력을 측정함으로써 구하는 일종의 경도인데 신선하고 단단한 암반일수록 해머의 튀어오르는 거리는 크게된다. 이 튀어오르는 해머가 충격을 주기전에 스프링의 힘에 의하여 움직인 거리에 대한 백분율을 나타내며 이것을 Schmidt hammer 의 반발치(Rebound value, R) 이라고 한다. 이값은 일축압축강도로 환산하여 암반분류에 사용할 수 있다.

㉡ Point load test

점하중강도 시험은 암석코아가 파괴될 때의 하중과 코아시료의 직경을 측정

하여 Point load index (Is(50))를 산출하고 일축압축강도 관계과의 상관관계를 이용하여 암석의 일축압축강도를 구하는 데 사용된다. 점하중강도시험은 일종의 간접인장 강도측정 시험으로 수직으로 집중된 하중을 수평으로 인장용력을 일으켜 하중방향과 같은 방향으로 면이 쪼개짐으로써 결국 파괴가 발생된다. 따라서 점하중강도지수는 압축강도 뿐아니라 인장강도와도 상관관계를 지울 수 있다. 점하중시험은 시추코어나 부정형 시료에 대하여도 사용할 수 있으므로 간단하게 현장에서 시험하여 일축압축강도를 구하여 암반분류에 사용할 수 있다.

$$I_s = \frac{P}{D^2}$$

여기서, Is = 점하중강도

P = 파괴하중

D = 직경

직경 50mm인 표준시료크기의 값 Is(50)는

$$I_s(50) = I_s \times \sqrt{\frac{D}{50}}$$

일반적으로 일축압축강도 = 24 x Is(50)

이다

### 2.3.2 실내시험

실내시험은 시료의 물리, 역학적 제시험을 통하여 보다 정밀한 지반의 공학적 특성 파악을 위하여 현장답사, 시추공 및 시험터널조사에서 채취된 시료를 대상으로 실시된다. 실내시험은 시료의 종류에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하며 실내시험결과는 설계, 시공 및 유지관리 기초자료로 정확성이 요구되므로 정밀성이 보장된 시험장비를 사용하여 시험기준에 따라 실시하여야 한다.

#### (1) 토질시험

실내토질시험은 원칙적으로 한국산업규격(KS F)에 제시된 시험방법에 따라서 수행하여야 한다. 단, 동규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법으로 수행한다(표 2.3.2 참조).

#### (2) 암석시험

- 1) 암석시료의 물리적, 화학적 제시험을 실시하여 지질상태, 원지반상태, 용수상태 등의 판단에 필요한 자료로서 표 2.3.3에 따라 조사목적에 적합한 시험을 실시한다.
- 2) 암석시료를 정형하여 암석시험편을 제작. 시험하는 방법은 한국산업규격(KS F), 국제암반

역학회의 표준시험규정(Suggested Methods of ISRM, International Society for Rock Mechanics)과 미국표준 시험법(ASTM, American Standards for Testing and Materials) 등에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 한다.

- 3) 시험은 시추공마다 2~3개이상의 시료를 채취하여 실시하며 이들 시료 각각에 대하여 암석시험편을 3개이상 제작하여 시험을 실시하는 것이 바람직하다.
- 4) 암석시료는 풍화, 균열상태, 방향성, 함수상태 등을 고려하여 그 지반의 대표적인 부분에서 채취하며, 특이한 부분에서 채취하여 실시하는 시험인 경우 이를 명확히 하여야 한다.
- 5) TBM 에 의한 기계굴착터널의 경우 굴진속도, 커터산정을 위한 암석물성으로는 암석의 성분비, 일축압축강도, 인장강도, 점하중강도지수(Point load index), DRI(Drilling rate index), Schmidt hammer 에 의한 반발강도, 수정테버 마모시험기에 의한 마모경도(Abrasive hardness)등을 사용할 수 있다.
- 6) 암석의 압축강도에 영향을 미치는 조건은 다음과 같은 것이며 시험시 주의하여야 한다.
  - 시험편의 모양
  - 시험편의 크기
  - 시험편 상하 가압면의 마무리
  - 압축시험기의 가압판과 시험편의 가압면 사이의 접촉상황
  - 건조정도
  - 하중속도, 변형률속도 등 하중의 재하방법

7) 암석시료에 대한 주요 시험으로는 다음과 같은 것들이 있다.

가) 일축압축시험

암석 시험편의 축방향으로 압축력을 가한 후 파괴 될 때의 하중을 측정하여 일축압축강도를 구하며 또한 시험편의 변형률을 측정하여 응력-변형률 곡선을 얻어 변형계수나 포아송비를 구할 수 있다.

시험편의 형태는 국내의 석재에 대한 일축압축강도시험규정( KS F 3033)에서는 각주 또는 원주형으로 되어 있으나 각주의 경우 시험편 제작의 어려움과 정밀도상에 문제점이 있어 ASTM 또는 ISRM에서는 각주는 인정치 않고 원주형을 권하고있다. 크기의 경우 국내에서는 직경에 대한 높이의 비를 1.0 으로 하고 있으나 일본의 규정(JIS M 0302)에서는 약 2.0, ASTM 또는 ISRM에서는 2.5~3.0를 규정하고 있어 외국의 시험결과와의 비교시 주의를 하여야 한다. 일본의 경우 직경은 20~100mm로 규정되어 있다. 일축압축강도는 다음식에 의하여 구하여 진다. 파괴하중을 P kg, 압축력을 받는 시험편의 단면적을 A 라 할 때, 일축압축강도  $\sigma_c$  는 다음식으로 산정한다.

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

응력에 따른 두개의 탄성상수는 다음 식을 이용하여 구한다.

$$\text{Young's modulus } (E) = \frac{\sigma}{\epsilon_A}$$

$$\text{Poisson's ratio } (\nu) = -\frac{\epsilon_L}{\epsilon_A}$$

여기서,  $\sigma$  = 하중에 의한 압축응력

$\epsilon_A$  = 시험편의 종방향 변형률

$\epsilon_L$  = 시험편의 횡방향 변형률

#### 나) 인장강도시험

암석의 인장강도시험방법에는 일축인장시험, 압열인장시험(Brazilian test), 압인시험(Indentation test)의 세가지 방법이 있으나 간접인장시험방법인 주로 압열인장시험이 사용되고 있다. 시험편의 형태는 원주형이며 직경에 대한 높이의 비는 0.5~1.0이고, 직경은 20~100mm 이다. 인장강도는 다음식에 의하여 구한다.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot L}$$

여기서,

$\sigma_t$  = 인장강도

D = 시험편의 직경

P = 파괴하중

L = 시험편의 길이

#### 다) 삼축압축시험

지하암반내 응력상태와 같이 원주형 시험편을 삼축가압실 (Tri-axial chamber)내에 넣고 유압으로 주위에 일정한 하중을 가한 후 일축압축에서와 같이 수직으로 하중을 가하여 파괴강도를 얻는다. 점착력(Cohesive strength)과 내부 마찰각 (Internal friction angle)은 이와같이 구한 삼축압축시험결과와 일축압축시험, 인장시험결과로부터 Mohr diagram에 의하여 구할 수있다. 시험편의 형태는 원주형이며 직경에 대한 높이의 비는 2.0~3.0이고, 시험편의 직경은 NX 코아크기가 바람직하며 암석의 최대입자 크기의 10배이상 되어야 한다.

#### 라) 탄성과전파속도측정시험

시험편을 탄성파가 통과하는데 소요된 시간을 측정하여 탄성파인 압축파(P파, 종파)와 전단파(S파, 횡파)의 전파속도를 구하는 비파괴시험이다. 시험편은 일축압축강도, 삼축압축강도 등에 사용되는 시험편을 사용하는 것이 바람직하다.



표 2.3.2 실내토질 시험종류

시험종류	시험 방법	시료의 상태	시험결과치	시험결과치의 이용	
입도시험, 체분석, 침강분석	KS F2302	교란	입경가적곡선 균등계수, 곡율계수	흙의 분류, 점토의 압축성판정, 사질토의 안정성 및 액상화판정	
액성한계시험 소성한계시험 수축한계시험	KS F2303 KS F2304 KS F2305	"	액성한계, 소성한계, 소성지수, 수축한계, 컨스턴시지수, 수축비	흙의 분류, 자연상태 점토의 안정성 판정, 흙재료의 판정, 점착력의 판정	
함수비시험	KS F2306	자연함수량 유지	함수비	흙의 기본적인 성질계산	
비중시험	KS F2308	교란	흙입자의 비중	간극비, 포화도계산	
일축압축시험	KS F2314	불교란 다짐	일축압축강도, 변형계수	점성토지반의 사면, 굴착면, 옹벽 등의 안정계산	
압밀시험	KS F2316	불교란	압축지수, 압밀계수, 체적압축계수, 압밀항복응력	점성토지반의 압밀침하량 및 침하시간 계산	
투수시험	KS F2322	불교란	흙의 투수계수	투수성지반의 설계	
직접전단시험	KS F2343	불교란	점착력, 내부마찰각	사면, 굴착면, 옹벽 등의 안정계산	
삼축 압축 시험	비압밀 비배수	KS F2346	불교란	점착력, 내부마찰각	점성토 지반의 사면, 굴착면, 옹벽 등의 안정계산
	압밀 비배수	"	"	"	유효응력에 의한 점성토지반의 안정계산
	압밀 배수	"	"	"	유효응력에 의한 사질토지반의 안정계산

표 2.3.3 실내 암석시험의 종류

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표준 방법		
			KS F	ISRM	ASTM
비 중 시 험	비 중	비중, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비	2518 (석재)	○	
밀 도 시 험	습윤밀도, 건조밀도	지반내의 응력산정, 지압 발생예측지표	"	○	
공극율 시험	공극율		-	○	
탄성과속도시험	동적탄성계수	암반탄성과속도와 비교하여 균열정도 파악	-	○	D2845
일축압축시험	압축강도, 탄성계수, 포아송비	암석의 역학특성	2519 (석재)	○	D2938, D3148
삼축압축시험	강도정수(c,φ), 암석변형 특성	"	-	○	D2664
점하중강도시험	점하중강도	암석의 강도지수를 판단, 암반분류	-	○	
압열인장시험	인장강도		3032	○	D3967
절리면전단시험	c, φ 계수, 전단강도		-	○	
Creep 시험	creep 계수, 변형율	지하구조물의 장기안정성	-	○	D4405, D4406, D4341
경 도 시 험	각종 경도지수	암석의 경도, 굴착기계에 의한 암석굴착난이도	-	○	
마 모 시 험	마모경도	암석의 기계화절삭, 굴진 능력	-	○	

주) ○ : 제안된 시험법임

강도시험을 하지 않고 탄성파전파속도만을 측정하고자 할 때는 시험편의 길이는 5.0~10.0 cm, 최소 단면적을 0.5cm<sup>2</sup>이상으로 하고 시험편 양쪽 끝면은 서로 평행하며 축정축과 직각으로 되도록 제작하여야 하며 시험편의 형태는 원주형이 아니라도 된다. 압축파전파속도( $V_p$ )와 전단파전파속도( $V_s$ )를 이용해서 동적탄성계수(Dynamic Young's modulus,  $E_d$ )와 동적포아송비(Dynamic Poisson's ratio,  $\nu_d$ )를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{동적탄성계수} \quad E_d &= \rho V_p^2 \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \\ &= 2\rho V_s^2(1+\nu) \end{aligned}$$

$$\text{동적포아송비} \quad \nu_d = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

#### 마) 절리면전단시험

지하에 존재하는 암반은 단층이나 절리, 균열 등을 포함한 불연속체이다. 특히 단층이나 절리는 터널과 같은 암반구조물의 안정성에 결정적인 영향을 끼친다. 절리를 포함한 시험편에 대하여 직접전단시험을 실시하여 최대전단강도, 잔류전단강도, 전단강성, 팽창특성을 구하여 수치해석프로그램의 입력자료로 활용한다. 삼축압축시험에 의하여 구한 점착력과 마찰각에 비하여 보다 현실적인 값을 얻을 수 있다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(1996), "터널공사표준시방서", 서울, pp. 21 ~36.
2. 신희순 (1996), "터널의 조사계획", 지반공학시리즈 7, 한국지반공학회, pp.25~50.
3. ASCE (1989), "Civil Engineering Guidelines for Planning and Designing Hydroelectric Developments", Vol.1 , pp.6-1~6-23.
4. ASTM (1991), "Annual Book of ASTM Standards- Soil and Rock", Vol.04.08.
5. Carmichael, R.S (1989), "Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals", CRC Press, pp.139~209.

6. ISRM (1981), "Rock Characterization Testing & Monitoring - ISRM Suggested Methods", Pergamon Press, 446p.
7. Vutukuri, V.S & K. Katsuyama (1994), "Introduction to Rock Mechanics", Industrial Publishing & Consulting, Inc. pp.21~168.
8. 日本土木學會 (1993), "トネル標準示方書(山岳編).同解説", 東京, pp.3~38.