

제 3 장 조 사

3.1 기본사항

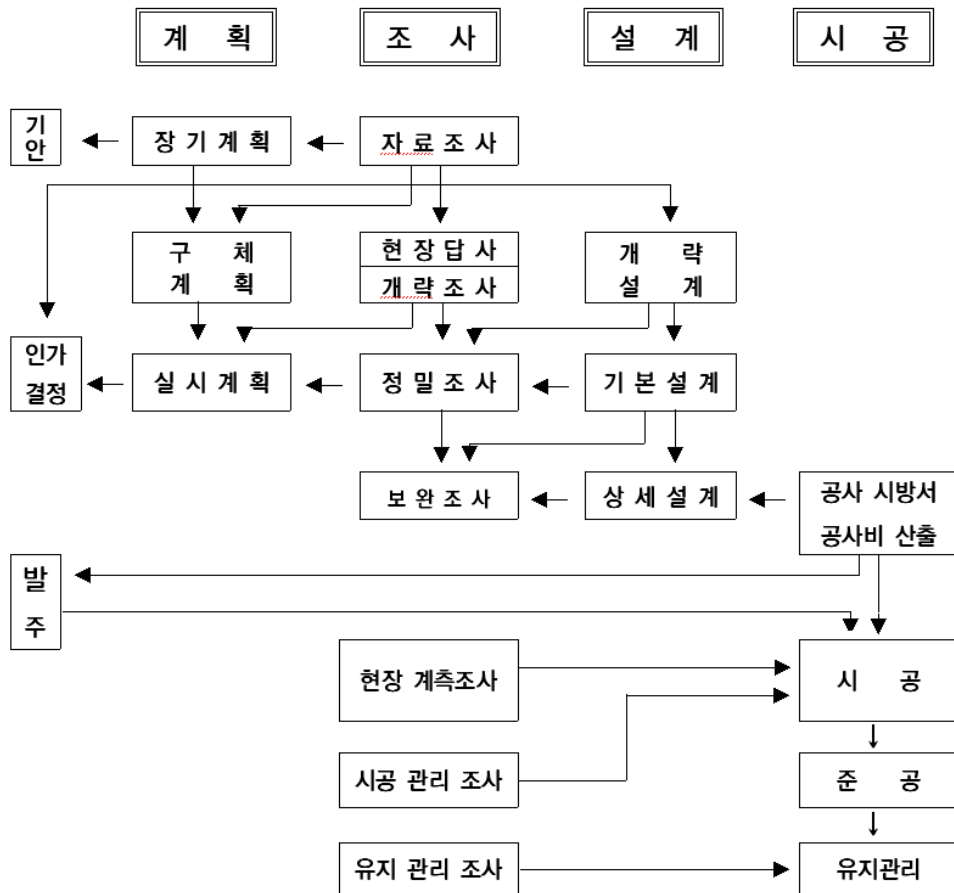
3.1.1 조사 시 고려 사항

- (1) 조사는 터널의 노선 선정, 설계, 시공 및 완성 후의 유지관리에 중대한 영향을 미치는 사항으로 충분한 기초자료를 얻을 수 있도록 실시하여야 한다.
- (2) 터널의 목적, 규모 및 위치 등을 고려하여 조사의 내용, 순서, 방법, 범위, 정도, 수량 및 기간 등을 결정하여야 한다.
- (3) 터널의 설계 및 시공 시 활용방법 등을 고려하여 조사 성과를 정리하여야 한다.
- (4) 터널공사는 설계 시의 조사 결과만으로 토질 및 암반 조건, 지질 조건, 지하수 등 지반 조건을 정확하게 파악하기 어려우므로, 시공 단계에서도 계속적인 조사를 실시하여야 한다.
- (5) 또한, 계획 및 설계 단계에서 적용한 암반 분류기준이 시공 시 조사에도 일관성 있게 적용되도록 하여야 한다.

3.1.2 조사시 포함되는 항목

- (1) 조사는 입지환경조사, 지반조사 및 시공 중 보완조사로 구분된다.
- (2) 입지환경조사
 - ① 터널 건설에 영향을 미치거나 터널 건설로 영향을 받을 수 있는 사항에 대한 조사를 말한다.
 - ② 지형, 환경, 지장물, 사토장, 수리·수문특성, 공사용 설비, 보상 및 관련 법규조사를 포함하여야 한다.
- (3) 지반조사
 - ① 아래와 같이 단계를 구분하여 시행함을 원칙으로 한다.
 - ② 예비조사 : 터널건설의 기본계획 및 노선 선정을 위한 조사
 - ③ 본조사 : 터널노선 결정 이후 공사 착공 전의 설계 및 시공계획을 위한 조사
 - ④ 보완조사로 단계를 구분한다.
- (4) 시공 중 보완조사
 - ① 조사 결과에서 나타난 지반의 문제점과 설계 당시의 사회적 제약 또는 민원 발생으로 실시하지 못한 조사 및 시공 중 발생한 문제점에 대하여 추가조사를 계획하여 실시하여야 한다.

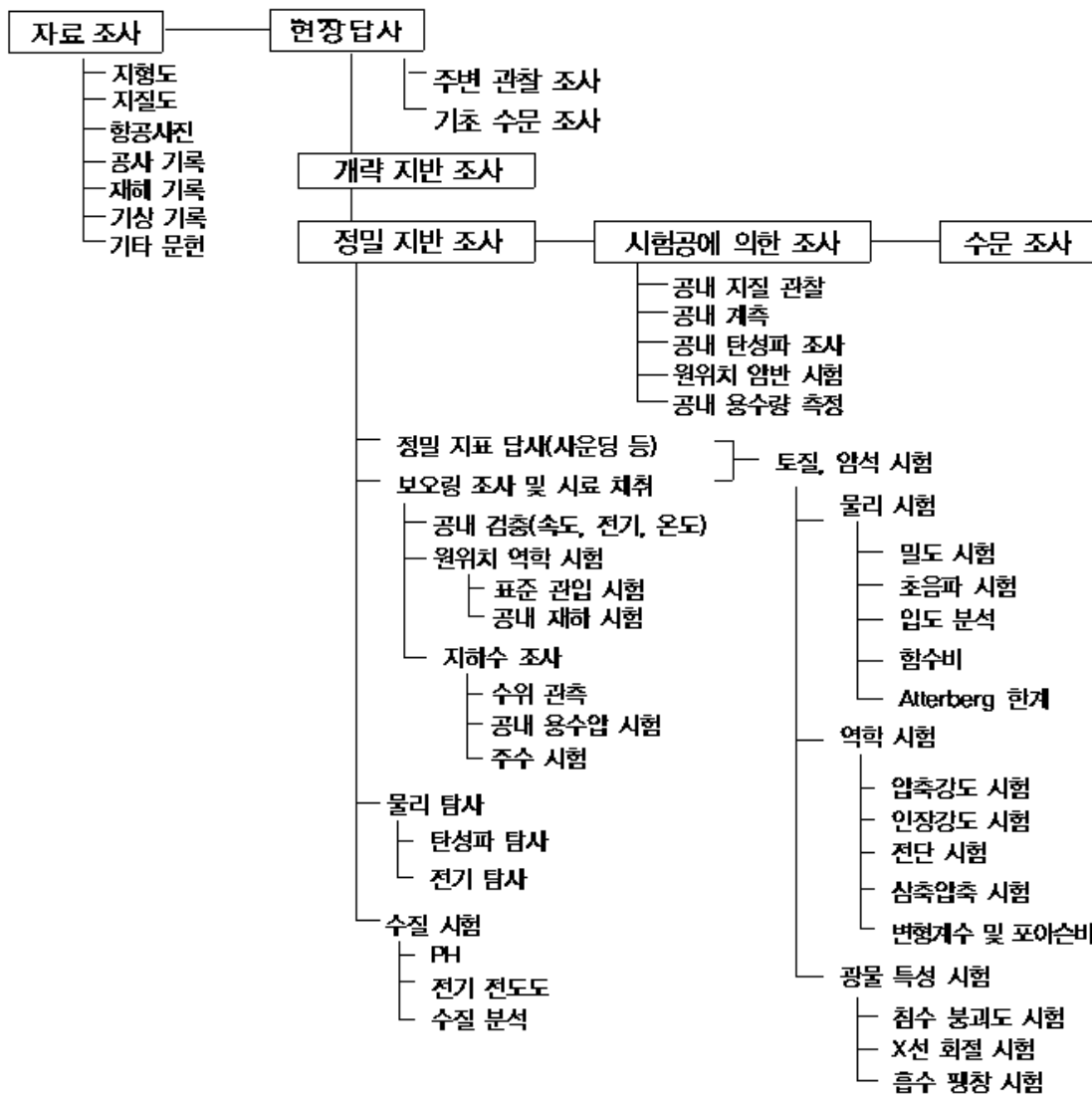
(5) 공사흐름에 따른 조사 순서 및 방법



<그림 3.1.1> 공사 흐름에 따른 조사 순서 및 방법

(6) <그림 3.1.2>는 지반조사의 단계, 방법 및 순서를 [표3.1.1]은 지반 조사의 항목과 방법을, [표3.1.2]는 지반의 종류에 따른 조사 항목을 나타낸 것이다.

(7) 내진검토를 목적으로 별도의 조사나 시험을 시행할 수 있다.



<그림 3.1.2> 지반 조사의 단계, 방법 및 순서

[표 3.1.1] 지반 조사의 항목과 방법

지반 조사 방법 조사 항목		자료조사	현장답사	개략조사	정밀지반조사									시험공관찰계측	수문조사	
					물리탐사	시추조사	공내검층				SPT	공내재하시험	시료시험			지하수조사
							속도	전기	공경	온도						
지형	지반 활동 붕괴지	○	○	○		○										
	편 압	○		○												
	토 피 현 황	○														
지질구조	지 질 분 포	△	△	○	△	○	△	△						○		
	단 층, 습 곡	△	△	○	○	○	△							○		
암질·토질	암석·토질 명	△	△	○	○	○	△							○		
	암 석 상 태	△		○		○		△						○		
	절 리			△	○	○	○							○		
	풍 화, 변 질			△	○	○	○	△						○		
	고 결 정 도			○	△	○	△	△	○		○			○		
지하수	대 수 층			○	○	○		○	○	△				○	○	
	지 하 수 위		△	△		○							○			
	투 수 계 수												○			
역학적성질	일축압축강도										△		○		△	
	점착력, 내부 마찰각										△		○		△	
	변형계수, 포아손비										△	○	○		○	
	N 값										○					
	측 압 계 수	△										○				
	R Q D	○				○										
물리적성질	탄성파 속도				○		○									
	초음파 속도												○			
	반 발 경 도												○			
	마 모 시 험												○			
	밀 도												○			
	입 도 분 포												○			
	액성한계, 소성한계												○			
	함 수 비												○			
광물성질	점 토 광 물												○			
	침수 붕괴도												○			
	흡수율, 팽창률												○			

주) ○ : 필요한 조사방법, △ : 경우에 따라 필요한 조사 방법

[표 3.1.2] 지반의 종류에 따른 조사 항목

조사항목	경암	연암 및 풍화암	풍화토 및 토사
지형	지반활동, 붕괴지, 편압지형	지반활동, 붕괴지, 편압지형, 토피현황	지반활동, 붕괴지, 토피 현황
지질구조	지질분포, 단층, 습곡	지질분포, 단층, 습곡	지질분포
암질·토질	암석명, 암상, 절리, 엽리, 편리, 풍화 변질	암석명, 암상, 편리, 풍화 변질	토질명, 고결정도
지하수	대수층, 지하수위	대수층, 지하수위, 투수계수	대수층, 지하수위, 투수계수
물리적 성질	원지반 탄성파속도, 초음파속도	밀도, 원지반 탄성파속도	밀도, 입도, 조성 함수비
역학적 성질	일축압축강도	일축압축강도, 점착력, 내부마찰각, 변형계수, 포아손비	일축압축강도, 점착력, N값 내부마찰각, 변형계수, 포아손비
광물화학적 성질		침수 붕괴도	
비 고		풍화된 암반은 토사지반에 준함	

3.2 입지환경조사

3.2.1 입지환경조사 시 조사내용

- (1) 지형의 조사
- (2) 환경의 조사
- (3) 지장물의 조사
- (4) 사토장의 조사
- (5) 수리·수문의 조사
- (6) 공사용 설비의 조사
- (7) 보상의 조사
- (8) 터널 건설에 있어서 법규에 의한 규제를 받는 경우에는 공사에 미치는 영향의 범위, 이에 대한 규제의 정도, 수속, 대책 등에 관한 관계법을 조사하여야 한다.

3.2.2 지형의 조사

- (1) 터널 건설에 영향을 미치거나 터널 공사로 영향을 받을 수 있는 지형을 대상으로 한다.
- (2) 지형도나 항공사진 및 인공위성사진 등을 이용하여 분석하고 현장답사를 통하여 조사하여야 한다.
- (3) 급경사, 편토압, 애추(talus), 붕괴지, 계곡 및 매몰된 수로 등 불안정한 지형이나 산사태, 눈사

태 및 홍수 등 재해가 예상되는 지형에 대하여 자료조사, 현장답사, 측량 및 지반 조사 등을 병행함으로써 지형 현황과 특성을 파악하고 터널건설에 미치는 영향을 분석하여야 한다.

3.2.3 환경의 조사시 고려사항

(1) 환경조사는 아래와 같이 구분하여 실시한다.

- ① 광역 환경조사 : 기본계획 및 노선 선정 단계에서 실시
- ② 터널주변 환경조사 : 설계 단계에서 실시

(2) 광역 환경조사

- ① 터널 시공 및 운용으로 인하여 자연 및 사회 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 광범위하게 실시하여야 한다.
- ② 다음 사항을 포함하여야 한다.
 - 가. 수리·수문 : 지형 및 하곡의 성상, 하천유량, 지하수위, 물이용 상황, 지하수에 영향을 미치는 타공사의 유무, 대수층의 존재 여부
 - 나. 기상 : 기온, 강우, 강설, 바람 등의 영향, 눈보라와 돌풍의 발생빈도 및 현황
 - 다. 재해 : 산사태, 눈사태, 붕괴, 지진, 홍수 등의 발생지 및 피해 정도
 - 라. 토지 : 토지이용 현황, 주요 구조물, 법에 의한 용도구분의 범위
 - 마. 교통 : 기존 철도, 도로의 규격, 구조, 수송력 등
 - 바. 공공 시설물 : 학교, 병원, 요양소, 자연공원 등의 공공 시설물의 위치 및 규모
 - 사. 문화재 : 사적, 문화재, 천연기념물 등의 위치, 규모 및 법지정 현황
 - 아. 지하자원 : 권리설정 현황, 광산 현황 및 광물의 부존 상태 등
 - 자. 광산개발 : 광산의 갱도나 폐갱도와 지하공동의 위치 및 규모
 - 차. 동식물상 : 주변 동식물의 현황 및 분포와 천연기념물 등 법적 보호종의 현황조사
 - 카. 기타 : 경관, 지역 개발계획 등

(3) 터널주변 환경조사

- ① 터널건설로 인하여 발생하는 터널주변 환경의 변화 예측, 환경보전대책의 입안, 대책의 효과 확인 등을 위하여 실시한다.
- ② 다음 사항을 포함 한다.
 - 가. 물이용 현황 : 지표수 및 지하수의 수질·수원 현황, 탁수 발생가능성이 있는 인접공사, 유로 및 수위 변화가능성
 - 나. 소음 및 진동 : 소음, 진동, 지형, 지질, 토지이용 현황
 - 다. 지반 침하 및 변형 : 도로, 철도, 도시철도, 건물, 구조물, 지하매설물, 폐광, 토지이용 현황, 지형 및 지질, 인접공사 현황
 - 라. 지반과 구조물의 변형 : 건물·구조물의 상태, 지형 및 지질, 토지이용 현황, 구조물의 변형발생 가능성이 있는 인접공사
 - 마. 수질오염 : 하천, 배수, 수로, 법규제의 상태
 - 바. 대기오염 : 대기 중의 유해물, 기상 현황
 - 사. 교통장애 : 구조, 교통량 혼잡 상태, 도로관리자, 도로주변의 환경 등
 - 아. 동식물상 : 동식물의 현황 및 분포와 천연기념물 등 법적 보호종의 현황 조사

3.2.4 지장물 조사시 고려 사항

- (1) 지하지장물의 종류, 평면상 위치 심도 및 크기 등을 파악하여 안전한 시공이 될 수 있도록 하여야 한다.
- (2) 터널굴착으로 인하여 영향을 받을 수 있는 주변 건물, 교량 및 기타 구조물 등 지상구조물의 종류, 용도, 특징 및 상태들을 조사하여 터널굴착으로 인한 영향 검토 시 자료로 활용하여야 한다.
- (3) 지장물 조사 결과는 후속 공사 시 지장물 보호를 위하여 활용하여야 한다.

3.2.5 사토장 조사시 고려 사항

- (1) 지형, 운반방법, 운반거리, 운반도로의 교통규제, 교통안전 등의 운반 조건, 사토장이 주변 환경에 미치는 영향, 사토 후의 토지의 형태 변화, 법규에 의한 규제 등에 대하여 사전에 조사하여야 한다.
- (2) 사토를 위한 용지 취득 및 사토에 따른 보상에 대하여 조사하여야 한다.
- (3) 사토장의 계획 시 사토에 따른 지반의 안정성, 토사 유출, 유해광물에 의한 환경오염 방지에 관한 조사를 실시하여야 한다.

3.2.6 수리·수문 조사시 고려사항

- (1) 수리·수문 조사는 시공 중 발생하는 용출수나 터널공사가 주변의 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 예측하는 데 필요한 정보가 제공되도록 실시하여야 한다.
- (2) 터널공사로 인하여 갈수가 예상되는 우물, 저수지, 용천, 하천 등에 대하여서는 그 분포, 수량의 계절적 변화, 이용 상황 등을 조사하여 갈수대책의 자료로 이용하여야 한다.

3.2.7 공사용 설비 조사시 고려사항

- (1) 지형과 지질 및 기상 : 설비기능 저해 혹은 위험가능성이 있는 지형, 지질 및 기상
- (2) 주변 환경 : 주변 환경에 영향을 미치는 공사용 설비의 소음, 진동, 배수, 교통, 분진
- (3) 전력의 사용 : 이미 가설된 송배전선의 용량, 주파수, 전압, 수변전의 난이, 수전까지의 소요 시간, 개략산출비용, 발전설비 등의 동력원, 공사용 장비운용 시의 소요 전력량
- (4) 화약고 설치계획 : 화약에 관한 법률이나 지방자치단체 조례 등
- (5) 용배수 : 콘크리트 혼합용수, 음료수, 기타 잡용수의 취수 조건, 터널시공에 수반한 용출수의 처리, 세척수의 방류 조건
- (6) 자재 및 버력 운반 : 기계 및 반출입, 버력 운반 등에 필요한 공사용 도로, 궤도 등의 규격, 교통량, 교통규제의 현황 및 주변 도로 이용 현황
- (7) 노무자재 : 터널 외부설비에 관계되는 콘크리트용 골재, 굳지 않은 콘크리트, 기타 자재의 공급경로, 공급사정의 현황 및 관리방법, 노무 사정의 현황
- (8) 법규, 기타에 의한 규제 : 인접지역의 공사 유무

3.2.8 보상조사시 고려 사항

(1) 터널공사에 있어서의 보상대상 사항

- ① 용지취득에 수반되는 토지, 건물, 수목 등의 매수 및 이전, 각종 권리(지상권, 지하권, 수리권, 온천권, 어업권, 광업권, 채석권 등)의 침해, 농림 및 어업 수익의 감소, 영업손실 등
- ② 이들의 보상을 위한 자료를 얻기 위하여 상세한 조사를 하여야 한다.

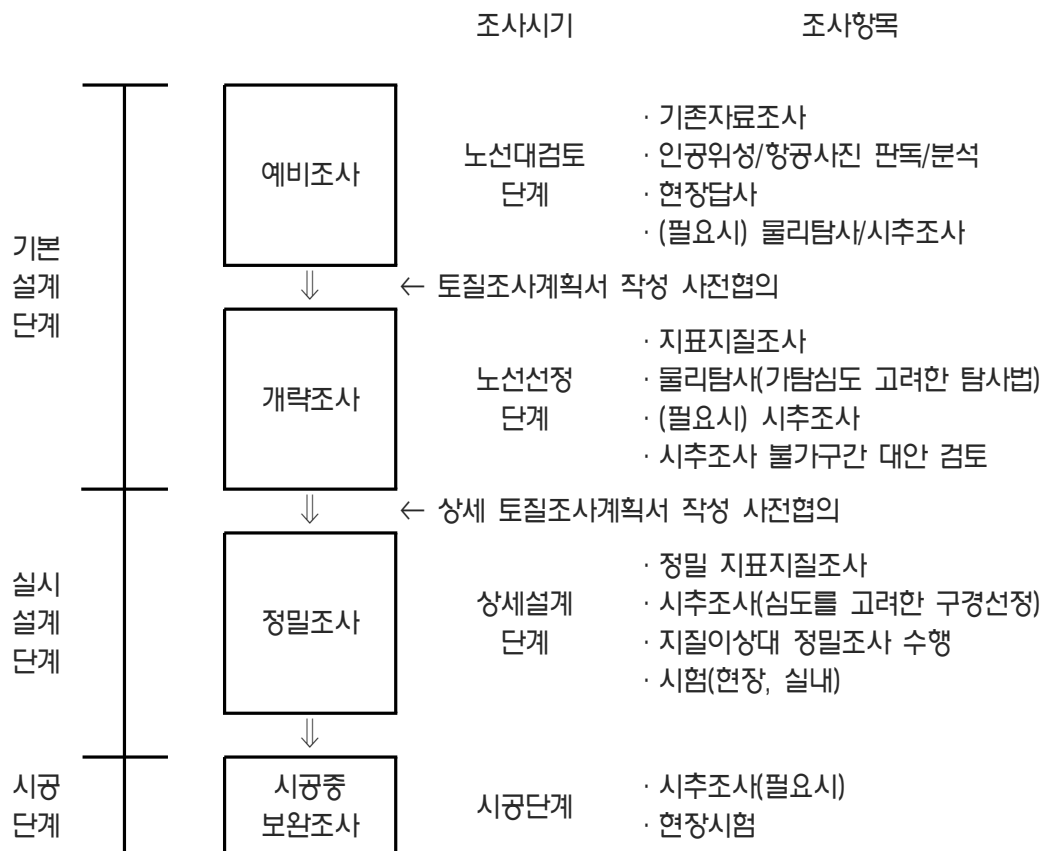
3.3 지반조사¹⁾

3.3.1 지반조사 단계별 고려사항

(1) 단계별 지반조사

- ① 기존자료 조사, 현장답사, 물리탐사, 시추조사, 시험(현장, 실내) 등 단계별 검토결과가 연계 분석될 수 있는 조사체계 정립하여 수행하여야 한다.
- ② 선 물리탐사 시행 후, 그 결과를 반영한 시추조사를 시행하여야 한다.
- ③ 조사단계별 지반조사계획서를 작성하고 감독원에게 사전보고를 의무화하여야 한다.
- ④ 효과적인 연계분석을 위해 최종 성과분석은 경험이 풍부한 전문가가 수행하도록 한다.

[표 3.3.1] 단계별 토질조사의 연계분석을 위한 체계



1) 터널부 토질조사 개선방안 검토(설계처-3330, 2009.6.17)

3.3.2 사전 자료 조사 활용

- (1) 광역조사 자료 등을 이용하여 조사지역의 현황을 파악하여야 한다.
- (2) 광역조사 자료 : 항공사진, 인공위성사진, 지형도, 지질도, 토양도, 지하 매설물도, 기존 구조물 도면, 지하수 현황, 폐광 및 지반공동 현황, 터널지역을 포함한 자료를 말한다.

3.3.3 현장답사시 고려사항

- (1) 현장답사는 야외조사를 통하여 지형이나 지질 및 지반 상태를 확인한다.
- (2) 지역 주민들과의 청문을 통하여 과거의 지형 변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사 자료에서 나타난 사항을 확인하고, 도상계획에 참고할 수 있도록 하여야 한다.
- (3) 조사 수행에 영향을 줄 수 있는 제반현장 여건을 확인하여 원활한 본조사계획을 수립할 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 현장답사는 반드시 경험 있는 관련 기술자에 의하여 이루어져야 한다.
- (5) 현장답사의 결과는 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 하여야 한다.
- (6) 이미 계획된 사항에 대하여는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 하여야 한다.
- (7) 현장답사 시 조사하여야 할 주요 내용은 지형, 지질구조, 지표수 및 지하수, 인근 구조물 유지 상태, 지하매설물, 조사위치, 장비 이동통로 등이다.
- (8) 필요 시 삽 또는 핸드 오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역 전반에 걸쳐 개략적인 지반 조건을 조사하고 시추계획에 반영하여야 한다.

3.3.4 지표지질조사시 고려사항

- (1) 축척
 - ① 일반적으로 항공사진 판독은 1:10,000 이상의 축척으로 촬영된 항공사진의 이용을 원칙으로 한다.
 - ② 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다.
 - ③ 지형도의 축척은 1:5,000을 기본지형도로 함을 원칙으로 하되, 지질분포의 복잡성에 따라 축척은 조정하여 사용할 수 있다.
- (2) 지표지질조사는 지질구조 및 지질 특성을 파악하고 필요 시 물리탐사 결과와 비교분석하여 큰 축척의 지질도를 1차적으로 작성한 후 본조사의 효율적 계획 수립에 반영하여야 한다.
- (3) 1차적으로 작성된 지질도는 본조사의 시추조사, 시험 결과 및 물리탐사 결과와 비교분석하여 지질구조의 특성을 보완한다.
- (4) 표층지반, 암질, 지하공동, 암층경계, 지하수 등의 사항을 표시한 지질 평면도, 지질 종단면도 등을 최종적으로 작성하여 터널 설계에 반영하여야 한다.

3.3.5 설계 개념에 따른 지반조사

(1) 재래식 터널 공법 : 지층구성상태만 아는 것으로 충분한 설계가 가능하다.

(2) NATM 등과 같은 정교한 해석을 토대로 하는 설계

① 지반 자체의 자립성을 이용하는 경제적인 설계를 수행한다.

② 정확한 지층 구성 상태 및 구체적이고 정밀한 지반의 공학적 특성에 관한 자료가 필요하다.

(3) 이러한 경우의 지반 조사 계획시 특히 다음 사항에 대해서 유의하여 검토할 필요가 있다.

① 원지반 자립성

가. 숏크리트와 록볼트를 주요 지보재로 하는 경우가 해당된다.

나. 굴착 후 1차 숏크리트를 시공하여 그 기능이 발휘될 때까지는 막장 정면이나 천단부 원지반의 자립성이 중요하다.

다. 특히 현저한 파쇄대로 구성되어 있고 용수가 발생하는 경우나 가는 균열이 현저히 발달된 이암 등은 대체로 원지반의 자립성이 좋지 않으므로 유의하여야 한다.

② 터널 용수량 및 용수압

가. 숏크리트 및 록볼트는 용수에 취약하다.

나. 즉, 용수가 많으면 숏크리트가 떨어지는 현상이 현저히 증가하게 되고, 록 볼트는 정착력이 현저히 저하한다.

나. 터널의 용수량, 용수압이 문제가 되는 경우에는 수문 조사에 외에 전기 검층, 지하수 조사 등의 방법에 의하여 보다 상세한 대수층의 분포, 지하 수위, 원지반의 투수계수를 조사하여 대책을 수립하여야 한다.

③ 지반 활동(sliding) 및 편압이 작용하는 지형

가. 노선 선정시, 지반 활동 지대는 될 수 있으면 피하여야 한다.

나. 부득이하게 지반 활동 지대, 갱구 부근에 편압이 작용하는 지형은 지형도, 항공사진, 현지 답사 등에 의하여 충분히 조사하고 기존의 산사태 혹은 지반 활동 자료 등을 충분히 분석하여 그 피해가 없도록 하여야 한다.

(4) 지보 패턴 결정을 위한 조사 시험

[표 3.3.2] 지보 패턴 결정 방법에 따른 조사시험 항목

항 목	지보 패턴의 결정 방법		
	표준지보 패턴의 적용	유사 조건에서의 설계 방법 적용	해석방법의 적용
암석 종류	◎	◎	◎
탄성파속도(V_p)	◎	○	
단위체적중량(γ)	○	○	◎
일축압축강도(q_u)	◎	◎	◎
변형계수		○	◎
정적포아손비(ν)		◎	◎
초음파속도(V_p)	○	○	
점착력 (C)	○	◎	◎
내부마찰각(ϕ)	○	◎	◎
측압계수(K_0)		○	○
입도조성		◎	
RQD		○	
점토광물 함유량		○	
점토광물 종류		○	
투수계수·수위		◎	
침수붕괴도		◎	
N값		◎	
함수비		○	
흡수율		○	

3.3.6 시추조사시 고려사항

(1) 시추조사 위치

- ① 지하매설물의 유무를 확인한 후에 선정하여야 한다.
- ② 관련 기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고, 유관기관과 협의 후 반드시 인력 터 파기나 탐사방법 등을 이용하여 실시한다.

(2) 시추

- ① 시추공은 계획된 터널을 직접 관통하지 않도록 위치를 계획하여야 한다.
 - ② 원칙적으로 NX 규격 이중 코아 배럴을 사용하여 실시하여야 하며, 대심도(200m 이상) 시추 시에는 NQ규격의 와이어라인(W.L)공법 등 효율적인 공법도 사용할 수 있다.
가. 암석시료의 실내시험 등을 감안 코어직경은 가능한한 50mm이상으로 한다.
 - ③ 풍화대나 파쇄대 등에서는 코아의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코아 배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.
 - ④ 수직으로 실시하는 것을 원칙으로 하되, 조사의 목적과 현장 조건을 고려하여 경사 및 수평 시추를 할 수 있다.
 - ⑤ 터널 갱구부 및 저토피 구간에서는 충분한 시추조사 및 물리탐사 등을 시행하여 지층 변화를 상세히 파악하여야 한다.
 - ⑥ 시추공은 물리탐사 등을 기초로 감독원과 협의하여 지반특성별 시추간격(기준 300m)을 탄력적으로 적용하여 파쇄대·연약대 및 지층변화를 확인할 수 있는 위치를 선정하여 시추한다.
가. 파쇄대 등 지질이상대 구간은 정밀조사 시행(시추간격 축소 등)한다.
나. 물리탐사 결과에 근거한 시추조사계획서 작성하도록 한다.
 - ⑦ 시추심도는 원칙적으로 터널 바닥부의 계획 심도에서 터널 최대 직경의 1/2 이상의 깊이까지 실시하는 것을 원칙으로 한다.
 - ⑧ 특정한 목적 또는 물리탐사 등으로 파쇄대·연약대 등의 존재 확인 시에는 필요한 심도까지 증가시킬 수 있다.
 - ⑨ 민원, 환경훼손, 장비진입 곤란 등의 사유로 시추조사가 불가능한 경우
가. 현장여건별 시추조사 가능여부, 최근점점 시추 또는 경사시추 등 시추조사계획 수립(감독원 검토·확인)한다.
나. 시추조사 불가구간이 1km이상 또는 지질이상대가 예상되는 구간은 헬기활용에 의한 조사방안(심도, 공수, 비용 등) 검토한다.
- (3) 터널 갱구의 적정 위치선정을 위한 시추 조사 기준²⁾
- ① 터널 입출구부 각각 2개소 계획고하 2m 까지 시추 조사한다.
 - ② 토사층 또는 연약층대 등이 존재하는 경우 풍화암층 또는 필요한 심도까지 시추한다.

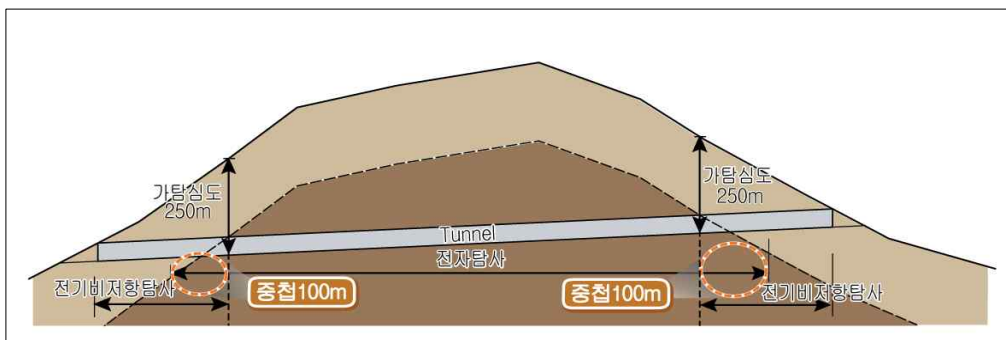
3.3.7 시험 터널조사시 고려사항

- (1) 특수한 지반 상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정 원위치 시험을 실시할 필요가 있을 때에는 시험터널을 굴착하여 조사할 수 있다.
- (2) 시험터널 내에서 각종 원위치 시험이나 계측을 실시할 경우 및 시료를 채취할 경우에는 원지반의 교란을 최소화하여야 한다.
- (3) 시험터널조사 시에는 터널의 지질도를 작성하여 종합분석에 참고하여야 한다.

2) 터널 갱문부 설계기준 보완 검토(건설술 10105-72, 2004.07.30)

3.3.8 지구물리탐사시 고려사항

- (1) 암종의 특성, 불연속면의 위치 및 방향, 조성물질 등의 지질특성과 지하수, 지장물 등 주변 여건을 고려하여 목적에 맞는 탐사법을 적용하여야 한다.
- (2) 지구물리탐사의 결과는 현장측정자료, 자료의 전산처리 결과 및 최종 해석 결과로 나타내어야 한다.
 - ① 결과에는 사용 장비명, 측선 및 측점의 위치도와 현장 탐사 시 특기사항의 자세한 서술이 포함되어야 한다.
 - ② 탐사 결과를 해석한 단면은 탐사자료를 기초로 해석한 기반암의 분포, 연약대 또는 파쇄대의 발달 정도 등 도식적 또는 서술적 해석 결과가 첨부되어 설계 및 시공에 유용한 정보를 제공할 수 있어야 한다.
 - ③ 시추 결과 또는 지질조사 결과와의 비교해석이 포함되어야 한다.
 - ④ 물리탐사 결과의 해석은 실효성 있는 가탐심도 범위 내에서 시행되어야 한다.
 - ⑤ 해석 결과 이상대가 나타날 경우 보완조사를 시행하여 이상대의 특성과 규모를 파악한 후 임반 분류 및 지보패턴설계에 반영되도록 하여야 한다.
- (3) 터널 통과구간에 공동 발생이 예측되는 경우 토모그래피 탐사를 실시하여 그 결과를 설계 및 시공에 유용한 정보를 제공하여야 한다.
- (4) 설계 단계에서 보완조사가 곤란할 경우 공사 중에 시행될 수 있는 조사방법을 제시하고 그 결과에 따라 지보패턴이 결정되도록 하여야 한다.
- (5) 터널 갱구의 적정 위치선정을 위한 물리탐사 기준
 - ① 전연장에 걸쳐 250m 미만구간은 전기비저항탐사, 250m 이상구간은 전자탐사를 시행한다.
 - 가. 전자탐사구간 양끝단 100m 구간은 전기비저항탐사와 중복수행하고 상호 연계분석하여 탐사성과의 신뢰성 향상 도모한다.
 - 나. 전자탐사 적용 구간의 연장이 짧거나, 심도 250m를 초과하는 심도가 얇은 경우에는 전기비저항탐사 적용여부 사전 검토한다.



<그림 3.3.1> 터널부 물리탐사 기준

② 터널입출구부의 탄성파탐사

- 가. 지형·지질의 변화가 많은 구간이므로 격자상(터널 중·횡방향)으로 실시한다.

③ 파쇄대·연약대 등 지질이상대가 예상되는 구간의 물리탐사

가. 지반특성의 입체적 파악을 위해 전기비저항탐사(또는 전자탐사)를 격자상(터널 중·횡방향)으로 실시한다.

3.3.9 지구물리검층시 고려사항

- (1) 지질학적, 수문지질학적, 지반공학적 특성과 연계하여 구성암석, 균열 상태(fracturing), 지하수 유동과 물리·화학적 성질 등의 지반정보를 얻을 수 있도록 하여야 한다.
- (2) 지구물리검층자료는 해석에 용이할 수 있도록 조밀하게 측정하여야 한다.
- (3) 측정 자료의 질을 유지할 수 있도록 안정적인 측정시스템을 적용하여야 한다.

3.4 시 험

3.4.1 현장시험시 고려사항

- (1) 현장시험은 시험항목별로 대상지반에서의 적용성을 검토하여 수행하여야 한다.
- (2) 표준관입시험
 - ① 지층이 변할 때마다 또는 동일층이라도 1.0m 깊이마다 1회씩 실시하여야 한다.
 - ② 관입깊이가 300mm 미만이라도 타격횟수가 50회에 도달할 시에는 타격을 중지하고 그때의 관입깊이와 타격횟수를 기록 한다.
- (3) 현장투수시험
 - ① 토사층에서의 투수계수를 파악하기 위하여 시행한다.
 - ② 주입수는 탁한 정도가 낮은 맑은 물을 사용하여야 한다.
- (4) 임반층의 투수계수를 측정하기 위해서는 팩커를 사용한 수압시험을 수행하여야 한다.
- (5) 공내재하시험
 - ① 지반 강성에 적합한 허용압력을 가지는 시험기로 수행하여야 한다.
 - ② 압력 조건은 다단계로 하여 반복 시험하는 것을 원칙으로 한다.
- (6) 공사의 규모나 지역 및 지질구조의 특성상 초기 지압응력을 구할 필요가 있을 경우에는 지반 상태를 감안하여 적절한 방법을 선정하여야 한다.
- (7) 수압파쇄시험³⁾
 - ① 터널을 설계함에 있어 초기응력인 K_0 값
 - 가. 터널 해석시 입력자료로 활용되어 지하공동의 방향성 및 단면형상을 결정한다.
 - 나. 터널 지보의 적정성을 판단하게 하는 중요 요소이다.
 - ② 터널내 초기응력을 산출하기 위한 시험방법 : 수압파쇄시험, 응력해방법, 응력보상법 등
 - ③ 자료의 신뢰성 및 설계자료 산정을 위한 방법으로는 수압파쇄시험법을 적용한다.
 - ④ 지표지질조사 및 탄성파탐사, 보링시추 등 지질조사를 시행하고 지반조건을 고려하여 토질 및 지질기술자의 자문을 받아 시행위치 선정한다.

3) 정지토압계수 산정을 위한 수압파쇄시험 적용(설계이 16204-158, 1996.05.30)

- ⑤ 1차적으로 시험장비 및 인력을 감안하여 장대터널(1km 이상)에 우선 적용하고 일반터널은 지역별 시험치를 공유한다.
- (8) 시험항목과 빈도는 공사의 특성, 현장 여건 등 제반사항을 감안하여 선정하여야 한다.
- (9) 상기의 시험항목 이 외에도 필요한 목적이 있을 경우 목적에 적합한 시험방법을 선정할 수 있다.

3.4.2 실내시험시 고려사항

- (1) 실내시험은 대상지반에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하여 시행한다.
- (2) 지반 조건, 지질구조, 굴착방법, 설계기법 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정하여야 한다.
- (3) 원칙적으로 한국산업규격(KS) 및 건설교통부 발행 기술지도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행하여야 한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.
- (4) 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행한다.
- (5) 시료의 제작 및 시험방법은 국·내외에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 한다.
- (6) 내진검토를 위한 동적지반정수 산정을 위하여 공진주시험, 비틀전단시험, 자유단공진주시험, 진동삼축압축시험 등과 물리탐사인 다운홀(downhole)탐사, 크로스홀(crosshole)탐사, S-PS검층, 음파검층, 밀도검층 등을 설계 목적에 적합하게 선정하여 수행하여야 한다.

3.5 시공 중 보완조사

3.5.1 시공중 보완조사시 고려사항

- (1) 시공 중 보완조사의 시행
 - ① 예비조사와 본조사 단계에서 민원 등 부득이한 이유나 기술적 한계 등으로 인하여 충분한 조사가 시행되지 못한 경우 실시한다.
 - ② 또는 시공 중 지반 변화가 예상되어 추가조사가 필요한 경우에 실시하여야 한다.
 - ③ 현장 여건을 고려하여 필요한 지반정보가 얻어질 수 있도록 조사항목을 선정하여야 한다.
 - ④ 터널입출구부, 저토피구간으로 시추조사 미시행(불충분) 구간의 경우 실시설계시 미시행한 시추조사, 화상정보시험 등 반영한다.
 - ⑤ 터널시공에 따른 지하수(우물) 등의 고갈로 민원이 예상되는 경우
 - 가. 시공전 지하수 등의 변화를 측정할 수 있는 시추공 반영
- (2) 시공 중 보완조사의 목적
 - ① 굴진면 전방과 굴진면주변의 지반 상태를 파악하는 데 있다.
 - ② 시공 중 관찰되는 노출된 지반 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반 변화나 시공 중의 계측 결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가 조사 및 시험을 실시하여야 한다.
- (3) 시공 중 보완조사는 일상적으로 굴진면 지질매핑(geological mapping)이 시행되어야 한다.
- (4) 필요한 경우 감지공 천공(feeler hole), 수평시추 및 터널 내 물리탐사 등을 통하여 굴진면 전방에 대한 지질특성을 조사할 수 있다.

- (5) 경암반 터널의 록볼트를 포함한 지보패턴 변경은 지질매핑 등 시공 중 보완조사 결과에 근거하여야 한다.
- (6) 필요시 굴진면 전방조사를 통하여 보조공법 적용 여부를 판단하는 등 사전공사 준비를 위한 자료로 제공되어야 한다.
- (7) 터널 전방 지질 예측⁴⁾
 - ① 실시설계시 수행한 터널의 물리탐사 결과 연약대가 발견된 경우
 - 가. 터널내 막장 탄성파 반사법 탐사를 연약대 위치별로 각 1회를 반영한다.
 - 나. 연약대의 전기비저항치 또는 탄성파 속도가 인접구간에 비하여 매우 작아 암편 확인이 필요한 경우 선진 수평 시추를 계획한다.
 - ② 계측결과 변위가 과대하거나 막장의 암질이 갑자기 연약화하여 전방의 암질을 예측할 필요가 있는 경우는 시공시 탐사를 시행한다.
 - ③ 암중 또는 절리면 상태 확인이 필요한 경우 선진 수평 시추를 시행한다.

3.6 지반조사 성과의 정리

3.6.1 지반 분류시 고려사항

- (1) 조사와 시험으로부터 수집된 제반 정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사 목적에 부합되도록 지반을 분류하여야 한다.
- (2) 토사층은 흙의 통일분류법(USCS) 등에 따라서 분류한다.
- (3) 암반 분류 시에는 다음 사항 중 필요한 사항을 선정하여 분류하여야 한다.
 - ① 압축강도
 - ② 탄성파속도
 - ③ 변형계수
 - ④ RQD
 - ⑤ 불연속면의 간격 또는 빈도
 - ⑥ 불연속면의 상태(거칠기, 풍화도, 연속성, 틈새, 충전물의 두께와 특성 등)
 - ⑦ 불연속면의 주향 및 경사
 - ⑧ 지하수 상태
 - ⑨ 초기응력 상태
 - ⑩ 암석 종류, 풍화도, 수침 시의 특성 등 암반의 거동특성에 영향을 주는 지반특성
- (4) 지보재설계를 위한 암반 분류는 RMR, Q-시스템 등을 적용할 수 있다.
 - ① RMR의 경우 일축압축강도나 RQD 등 계량화가 가능한 평가요소의 경우는 Bieniawski의 제안 그래프(1989)를 이용하여 점수를 산정할 수 있다.
 - ② RMR에 의한 암반 분류는 5등급으로 분류하는 것을 원칙으로 하되, 터널의 크기, 용도 및 지역특성을 고려하여 5등급 이상으로 세분화할 수 있다.

4) 터널막장 전방 암질예측 방안 검토(설계구 10201-452, 2003.11.08)

- ③ 함수미고결지층 등과 같이 특수한 지반 조건이 존재할 경우에는 이를 별도의 지반등급으로 분류하여야 한다.
- ④ 가능한 현장 시추자료를 근거로 각각의 암반 분류를 수행한 후 상관관계를 적용하는 것을 원칙으로 하되, 자료가 부족할 경우 Bieniawski가 1976년에 제시한 $RMR=9\ln Q+44$ 와 Barton이 1995년에 제시한 $RMR=15\log Q+50$ 을 활용하여 상호 보완할 수 있다.

3.6.2 조사 결과의 정리시 고려사항

(1) 지표지질조사 결과

- ① 용융지질도로 정리하여야 한다.
- ② 용융지질도는 터널구간을 포함하는 광역지질도(1:25,000)와 정밀용융지질도(1:5,000)로 구분하여 작성하여야 한다.

(2) 시추조사 결과

- ① 일정한 양식의 시추 주상도에 정리하여야 한다.
- ② 지층설명은 색조, N 값, 강도, 풍화도, 균열 상태, 암석명, TCR, RQD 등을 포함하여 상세하게 기록한다.
- ③ 시추 주상도와 지구물리탐사 등 관련 자료를 참고하여 터널구간의 지질단면도를 작성하여야 한다.

(3) 채취된 시료

- ① 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리하여야 한다.

(4) 시료상자에 정리된 시추코아

- ① 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에서 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리하여야 한다.
- ② 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록하여야 한다.

(5) 현장시험, 지구물리탐사의 결과

- ① 공내재하시험, 수압시험, 투수시험, 초기응력 측정시험 등이 해당된다.
- ② 각각 그 목적에 적합한 정보가 자세히 기록될 수 있는 일정한 양식에 정리하여야 하며, 조사의도가 명확하여야 한다.

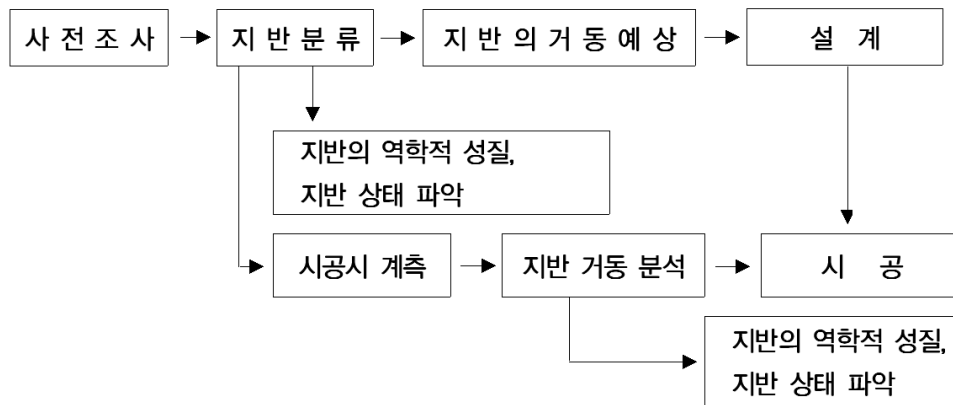
- (6) 조사 결과에 대한 수량은 반드시 확인·기록하여야 하며, 조사 자료는 추후 유지관리 시에 활용 가능하도록 조치하여야 한다.

3.7 지반분류

3.7.1 지(암)반 분류의 목적

- (1) 국내에서 적용되는 지(암)반 분류는 공공사업 부분을 포함한 토목공사의 땅깍기 및 흙쌓기, 구조물, 기초 굴착, 터널 공사 등에 이용되고 있다.
- (2) 일반적으로 발주처에서는 설계, 시공의 품셈 적용시에 이용하고 있다.

(3) 지반 분류의 이용에 대한 흐름 및 시공시의 검증 관계는 <그림 3.7.1>과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 3.7.1> 현장조사 및 시공의 지반 분류 이용에 대한 흐름도

3.7.2 지반 분류시 고려 요소

(1) 지반 분류의 기본 방향

- ① 지반은 지하 굴착이나 지하 공간 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 성질을 등급에 따라 나누어 분류하도록 한다.
- ② 계획 단계에서부터 조사, 설계, 시공에 이르는 모든 과정에서 일관성 있게 적용될 수 있는 기준이 되도록 하여야 한다.
- ③ 지반 분류와 굴착, 터널 지보 패턴이 가급적 동일한 등급으로 구분되도록 한다.
- ④ 지반 분류시 객관적 지표를 명시한다. 즉, 지반의 물리적, 역학적 지표인 탄성파 속도(P파), 압축 강도, 현장 관찰 또는 계측상의 지표를 명시하여 시공시 노출면을 관찰하여 정확하고 신속한 분류가 될 수 있도록 한다.
- ⑤ 지반 조사와 시험은 통상 사용하는 방법 중 실행 가능한 방법들이어야 한다.

(2) 지반 분류 요소

- ① 구성 암반의 암종
- ② 시편의 일축 압축강도, 인장강도, 탄성계수, 포아손비
- ③ 탄성파 속도(자연 상태 및 암편 상태)
- ④ 암석의 풍화 정도, 불연속면의 상태
- ⑤ RQD
- ⑥ 지하수의 강도에 미치는 영향
- ⑦ 응력 상태 및 변형 특성 등

(3) 암반 분류에 적용되는 기준 요소 검토

- ① 암반 분류 방법은 경험적인 요소가 지배적인 기준으로 적용되는 방법과 현장에서 시공시 노출되어 확인될 수 있는 요소로서 암반을 분류하는 방법으로 대별한다.

② 설계시에 조사될 수 있는 자료는 약 9가지로 제한되어 있으므로 가정 및 경험적인 측면에 치중하기보다 설계 당시 조사될 수 있어 확실성이 있는 요소를 비교, 검토하여 암반 분류의 기준 요소로 적용하는 것이 바람직하다.

③ 각종 암반 분류 방법의 적용 요소를 비교하면 [표 3.7.1]와 같다.

[표 3.7.1] 암반 분류 적용 요소의 비교

분류방법	분류 기준 요소		비 고
한국 엔지니어링 진흥협회	•시추 추진 현황 •균열 상태(육안) •항타 타격 시험 •탄성파 속도	•풍화 변질 상태 •코아 회수 상태 •침수 시험 •일축 압축강도	탄성파속도 및 일축 압축 강도 이외에는 주관적인 견해가 지배적임.
RMR	•일축 압축강도 •절리의 간격 •지하수 상태	•RQD •절리면의 상태 •절리의 방향	절리 간격 및 상태, 방향 등 3요소를 경험적 판단으로 가정함
Q-SYSTEM	•RQD •절리면의 상태 •지하수	•절리군의 수 •절리의 풍화 정도 •응력 감소 요소	터널 시공시 육안으로 식별되는 요소로 판단
오스트리아	•암반 특징(육안) •지하수	•암반의 거동	터널 시공시 육안으로 식별되는 요소로 판단
일본도로공단 「설계요령」	•탄성파 속도 •코아 채취 상태	•지질 상태 •관찰결과(균열상태 등)	탄성파속도 외에는 육안 판별 요소가 지배적임.

3.7.3 터널용 암반 분류 방법

- (1) 터널용 암반의 분류는 암석이나 암반에 대한 지질적 분류와는 달리 암반을 그 공학적 특성에 따라 분류하는 것이다.
- (2) 암반은 같은 종류나 구조를 가지고 있어도 단층, 파쇄, 풍화, 변질, 불연속면의 정도 등이 국부적으로 변화하는 것으로 이에 따라 암반의 성질도 변화한다.
- (3) 이러한 암반의 성질 변화를 공학적 차원으로 구분하고 조사하는 과정은 설계와 시공에 미치는 영향이 크므로 매우 중요하다.
- (4) 암반 분류에 있어서는 분류를 위한 척도, 즉 분류 요소로 무엇을 선택할 것인가가 문제가 되는데, 이는 분류 결과를 무엇에 이용 하는가에 관계되기 때문이다.
- (5) 터널은 지표로부터 일정한 심도를 갖고 설치되므로 계획선상의 암반을 사전에 직접 관찰할 수 없으므로 지질 조사에 의하여 부근 지질 구조를 분석하고, 분포되어 있는 지질 종류를 추정한 다음 탄성파 탐사를 통하여 암반 성상을 추정하는 것이 일반적이다.
- (6) 터널의 암반분류 방법에는 다음과 같은 방법이 있으며 이들의 상세한 분류방법 및 절차는 도로설계요령 등의 내용을 참조한다.

- ① RMR분류(Bieniawski의 암반 분류법)
- ② Q-System(NGI;Norwegian Geotechnical Institute분류법)
- ③ 오스트리아의 분류 기준(Rabcewicz-Pacher의 분류)

- ④ 한국엔지니어링 진흥협회의 분류 기준
 - ⑤ 한국도로공사 분류 기준
- (7) 상기 분류 기준은 대표적인 분류기준을 나열한 것으로 특수한 지반(팽창성 암반, 미고결 암반 등)의 경우 별도의 분류 방법을 검토할 수 있다.