

KR C-12020

Rev.3, 10. June 2020

터널조사

2020. 6. 10



한국철도시설공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 일반사항	4
3. 환경조사	5
4. 지장물조사	6
5. 보상대상조사	6
6. 공사용 설비 및 사토장 조사	7
7. 수리·수문조사	7
8. 관계법규조사	8
9. 지반조사	8
10. 시험	11
11. 공동 또는 싱크홀 조사	12
12. 시공 중 보완조사	12
13. 지반조사 성과의 정리	13
 해설 1. 지반조사	 15
1. 지반조사의 일반	15
2. 예비조사	15
2.1 자료조사	15
2.2 현장답사	16
3 본조사	17
3.1 지표지질조사	17
3.2 시추조사	18
4. 지구물리탐사	20
4.1 지구물리탐사 일반.....	20
4.2 굴절법 탄성파탐사.....	21
4.3 전기탐사.....	23
4.4 전자탐사.....	24
4.5 지표레이더(GPR) 탐사.....	24
5. 시추공 내 탐사	25
6. 시험터널조사	29
7. 하·해저터널 조사	29

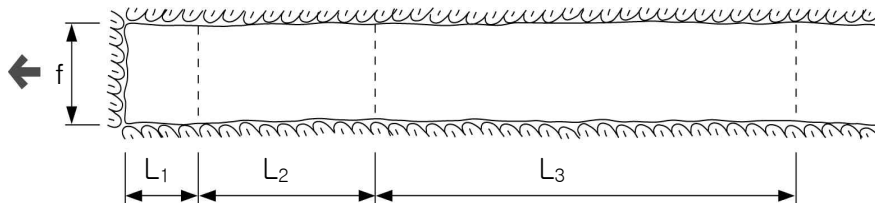


해설 2. 시험	30
1. 현장시험	30
2. 실내시험	32
해설 3. 지반조사 성과의 정리	34
1. 지반의 분류	34
2. 조사결과의 정리	42
3. 조사자료의 보존	43
RECORD HISTORY	44

1. 용어의 정의

이 설계기준에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (1) 경사 : 층리면(지층면), 단층면, 절리면 등의 지질 불연속면이 수평면에 대하여 최대 로 기울어진 각도를 말하며, 경사방향은 주향과 항상 직교하게 나타나며, 진북을 기준으로 측정.
- (2) 계측 : 터널굴착에 따른 주변지반, 주변구조물 및 각 지보재의 변위 및 응력의 변화를 측정하는 방법 또는 그 행위.
- (3) 굴진면(또는 막장면) : 터널굴진방향에 대한 굴착면을 말하며 거의 연직에 가까운 것이 대부분이다. 또한 굴진면 후방의 20~30m 구간의 굴착작업이 주체적으로 실시되는 영역을 굴착부(막장부).
- (4) 굴착공법 : 굴진면 또는 터널굴착방향의 굴착계획을 총칭하는 것으로서 전단면굴착공법, 분할굴착공법, 선진도갱굴착공법 등.
- (5) 굴착방법 : 굴진면의 지반을 굴착하는 수단을 말하며 인력굴착, 기계굴착, 파쇄굴착, 발파굴착방법 등.



(f : 굴진면, L₁ : 굴진구역, L₂ : 굴착구역, L₃ : 후방구역)

그림 1. 굴진면과 굴착부

- (6) 단층 : 지각의 응력에 따라 생긴 일정 규모 이상의 전단파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분.

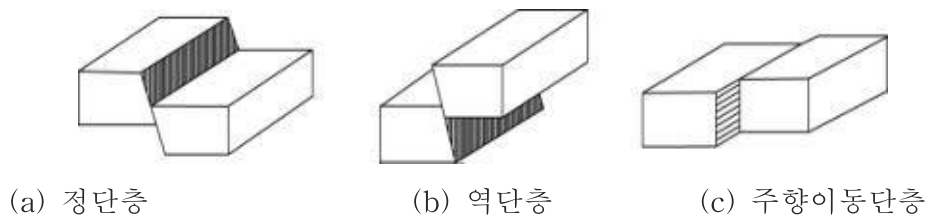


그림 2. 단층의 종류

- (7) 록볼트(Rock Bolt) : 굴착암반면의 보강을 위하여 삽입하는 볼트이며, 암반을 일체화함으로써 원지반의 안정을 위하여 설치한다. 록볼트의 정착방식에는 선단정착방식, 전면정착방식 및 병용방식.
- (8) 바닥부 : 터널단면의 바닥부분.
- (9) 벤치(Bench) : 터널 단면을 상·하로 분할하여 굴착하는 경우에 분할면.



- (10) 불연속면(Discontinuities In Rock Mass) : 모든 암반 내에 존재하는 절리, 퇴적암에 존재하는 층리, 변성암에 존재하는 엽리, 대규모 지질구조와 관련된 단층과 파쇄대 등 암반에서 나타나는 모든 연약면을 총괄하여 일컫는 말.
- (11) 쏫크리트(Shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 부착시켜 시공(타설)하는 콘크리트.
- (12) 습곡(Fold) : 화성암, 변성암, 퇴적암에서 변형 전 평면에 가까운 면들이 변형에 따라 물결처럼 굽어 있는 구조.
- (13) 엽리 : 변성암에 나타나는 지질구조로 암석이 재결정 작용을 받아 같은 광물이 판상으로 또는 일정한 띠를 이루며 형성된 지질구조.
- (14) 용출수 : 터널의 굴착면으로부터 용출되는 지하수.
- (15) 인버트(Invert) : 터널단면의 바닥 부분을 통칭하며, 원형터널의 경우 바닥부 90°구간의 원호 부분, 마제형 및 난형 터널의 경우 터널 하반의 바닥 부분을 지칭한다. 인버트의 형상에 따라 곡선형 인버트와 직선형 인버트로 분류하며, 인버트 부분의 콘크리트라이닝 타설 유무에 따라 폐합형 콘크리트라이닝과 비폐합형 콘크리트라이닝으로 분류.
- (16) 전기탐사 : 물리탐사법의 일종으로 지반전류의 물리현상을 대상으로 하여 자연전위, 비저항을 측정하며 지반구조, 지하수 등을 조사하는 방법.
- (17) 절리 : 암반에 존재하는 비교적 일정한 방향성을 갖는 불연속면으로서 상대적 변위 가단층에 비하여 크지 않거나 거의 없는 것을 말하며 성인은 암석 자체에 의한 것과 외력에 의한 것.
- (18) 주향 : 불연속면(층리면, 단층면, 절리면 등)과 수평면의 교선방향을 진북 방향으로 기준하여 측정한 방위.
- (19) 지구물리탐사(Geophysical Exploration) : 지구물리학적 방법에 의해 파쇄대의 존재, 지하수분포의 상태, 지질특성 및 지질구조 등을 조사하는 방법으로서, 중력탐사, 자력탐사, 전기탐사, 전자탐사, 탄성파탐사, 방사능탐사 등.
- (20) 지반 : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분.
- (21) 지반조건(Ground Condition) : 터널주변 지반의 지형, 지질, 수리·수문 조건 등.
- (22) 지보재 : 굴착 시 또는 굴착 후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭을 말한다.
- (23) 지보패턴 : 터널굴진면의 지반 상태와 터널 천단부 및 그 상부의 지반 상태, 시공성 등을 고려하여 터널의 안정성이 확보되도록 적용되는 지보 형태를 말하며, 터널굴착후 조기에 설치하여 터널의 안정을 꾀하기 위하여 설치하는 쏫크리트, 록볼트, 강지보공과 보조공법 등을 조합한 것.

- (24) 지하매설물 : 지표하부에 묻혀있는 인공구조물 또는 인공시설물로서 지장물이라고도 함.
- (25) 초기응력 : 굴착 전에 원지반이 가지고 있는 응력.
- (26) 추력(Thrust Force) : TBM 등의 기계굴착방법에서 커터헤드의 굴착면으로의 추진력.
- (27) 측벽부(Wall) : 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간.
- (28) 측선 : 계측을 위해 설정한 측점 사이의 최단거리에 해당하는 가상의 선.
- (29) 층리 : 퇴적암이 생성될 때 퇴적 조건의 변화에 따라 퇴적물 속에 생기는 층을 이루는 구조.
- (30) 콘크리트라이닝 : 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근 콘크리트의 터널부재.
- (31) 토피 : 터널 천장으로부터 지표까지의 연직두께를 말한다.
- (32) 틈새 : 불연속면에 대하여 수직한 방향으로 벌어진 거리를 말한다.
- (33) 팽창성 지반 : 터널굴착 시 팽창으로 인하여 문제를 일으키기 쉬운 지반으로써, 제3기층의 열수 변질을 받은 화산분출물, 팽창성 이암 및 온천 여토 등.
- (34) 편압 : 터널 좌우 또는 전후 방향으로 불균등하게 작용하는 지반압력을 말한다.
- (35) 함수미고결지반 : 신생대 3기말부터 제4기에 형성된 퇴적물, 암석의 풍화대, 파쇄대 등의 미고결 또는 물을 포함하고 있는 고결도가 낮은 지반.
- (36) DGPS(Differential Global Positioning System) : 상대측위방식 GNSS(Global Navigation Satellite System) 측량.
- (37) Q-System : 바톤(Barton) 등이 제안한 정량적인 암반분류의 하나이며 RQD, 절리군수, 불연속면 거칠기, 불연속면 변화정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 암반을 분류하는 방법.
- (38) RMR(Rock Mass Rating) 분류 : 비에니아스키(Bieniawski)가 제안한 정량적인 암반 분류방법이며 암석강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 불연속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 방법.
- (39) RQD(Rock Quality Designation) : 시추코아 중 10cm 이상되는 코아편의 길이의 합을 시추길이에 나누어 백분율로 표시한 값으로서 암질의 상태를 나타내는데 사용. 이때 코아의 직경은 NX규격 이상.
- (40) TCR(Total Core Recovery) : 전체 시추길이에 대한 회수된 전체 코아의 길이비를 백분율로 표시한 값.
- (41) WGS-84(World Geodetic System, 1984) : GPS의 기준좌표계인 지구고정 지구중심 3차원 직각좌표계.



2. 일반사항

- (1) 조사는 터널의 노선선정, 설계, 시공 및 완공 후의 유지관리에 중대한 영향을 미치는 사항으로 필요로 하는 기초자료를 얻을 수 있도록 실시해야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03020 지반조사」를 따른다.

표 1. 설계내용의 변경사항

주요항목	주요내용
지반의 재분류	· 적용지반의 분류
설계단면의 변경	· 지보재
	· 변형 여유량
	· 단면형상
적용지보패턴의 변경	· 숏크리트 두께
	· 숏크리트의 재질
	· 록볼트의 길이, 본수
	· 강지보재 설치간격 및 규격
굴착공법의 변경	· 벤치커트 공법(코아(Core)남김, 링커트 포함)
	· 선진도개공법
	· 기타 굴착단면 분할
보조공법 도입	· 막장(굴진면) 안정화 대책
	· 지반보강 대책
	· 용수대책
	· 지표면 침하 대책
	· 근접 구조물 대책
단면의 폐합	· 인버트 콘크리트(조기 시공)
	· 인버트 숏크리트(가폐합)
	· 콘크리트라이닝 강성 증대
	· 이중 라이닝(임시 라이닝)
터널공법 변경	· 개착터널 공법으로 전환
	· 토공구간으로 전환
기 타	· 기타 변경이 요구되는 사항

- (2) 터널의 목적, 규모 및 위치 등을 고려하여 조사의 내용, 순서, 방법, 범위, 정도, 수량 및 기간 등을 결정해야 하며 터널의 설계 및 시공 시 활용방법 등을 고려하여 조사 성과를 정리해야 한다.
- (3) 터널공사는 설계 시의 조사 결과만으로 토질 및 암반조건, 지질조건, 지하수 등 지반 조건을 정확하게 파악하기 어려우므로, 시공단계에서도 계속적인 조사를 실시해야 한다. 또한, 계획 및 설계단계에서 적용한 암반분류 기준이 시공 시 조사에도 일관성 있게 적용되도록 해야 한다.

(4) 조사는 입지환경조사 및 지반조사로 구분되며 각 조사에서는 다음 사항을 포함해야 한다.

- ① 입지환경조사는 터널의 건설에 영향을 미치거나 터널건설로 영향을 받을 수 있는 사항에 대한 조사로서 지형, 환경, 지장물, 사토장, 수리·수문특성, 공사용 설비, 보상 및 관련법규 조사를 포함해야 한다.
- ② 지반조사는 터널건설의 기본계획 및 노선 선정을 위한 예비조사, 터널노선 결정 이후 공사 착공전의 설계 및 시공계획을 위한 본조사, 그리고 보완조사 및 시공 중 조사 단계를 구분하여 시행한다.

3. 환경조사

(1) 환경·입지조건조사는 터널건설에 영향을 미치는 관련 환경, 법규 및 기타 사항에 대하여 조사하는 것으로서 조사내용, 방법, 범위 등에 대해서는 조사목적, 단계, 철도의 특성 등을 고려하여 계획해야 한다.

(2) 지형조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 터널건설에 영향을 미치거나 터널공사로 영향을 받을 수 있는 지형은 지형도나 항공사진 및 인공위성사진 등을 이용하여 분석하고 현장답사를 통하여 조사해야 한다.
- ② 급경사, 편경사, 애추(Talus), 붕괴지, 계곡 및 매몰된 수로 등 불안정한 지형이나 산사태, 눈사태 및 홍수 등 재해가 예상되는 지형에 대해서는 자료조사, 현장답사, 측량 및 지반조사 등을 병행하여 지형 현황과 특성을 파악하고 터널 건설에 미치는 영향을 분석해야 한다.

(3) 환경조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 환경조사는 기본계획 및 노선선정 단계에서 실시하는 광역 환경조사와 설계 단계에서 수행하는 터널주변 환경조사로 구분하여 실시한다.
- ② 광역 환경조사는 터널 시공 및 이용으로 인하여 자연환경 및 사회환경에 미치는 악영향을 최소화하기 위하여 광범위하게 실시해야 하며, 다음 사항을 포함한다.

가. 수리·수문 : 지형 및 하곡의 성상, 하천유량, 지하수위, 물이용 상황, 지하수에 영향을 미치는 타공사의 유무, 대수층의 존재여부

나. 기상 : 기온, 강우, 강설, 바람 등의 영향, 눈보라와 돌풍의 발생빈도 및 현황

다. 재해 : 산사태, 눈사태, 붕괴, 지진, 홍수 등의 발생지 및 피해정도

라. 토지 : 토지이용 현황, 주요 구조물, 법에 의한 용도구분의 범위

마. 교통 : 기존철도, 도로의 규격, 구조, 수송력 등

바. 공공 시설물 : 학교, 병원, 요양소, 자연공원 등 공공시설물의 위치 및 규모

사. 문화재 : 사적, 문화재, 천연기념물 등의 위치, 규모 및 범지정의 현황

아. 지하자원 : 권리설정 현황, 광산현황 및 광물의 부존상태 등



자. 광산개발 : 광산의 갱도나 폐갱도와 지하공동의 위치 및 규모

차. 기타 : 동식물의 분포상태 및 경관, 지역 개발계획 등

- ③ 터널주변 환경조사는 터널 건설로 인하여 발생하는 터널주변 환경변화의 예측, 환경보전 대책의 입안, 대책의 효과확인 등을 위하여 실시하며 다음 사항을 포함해야 한다.

가. 물이용 현황 : 지표수 및 지하수의 수질, 수원의 현황, 탁수발생 가능성이 있는 인접공사, 유로 및 수위변화 가능성

나. 소음 및 진동 : 소음, 진동, 지형, 지질, 토지이용 현황

다. 지반침하 : 도로, 철도, 지하철, 건물, 구조물, 지하매설물, 폐광, 토지 이용현황

라. 지반과 구조물의 변형 : 건물, 구조물 상태, 지형 및 지질, 토지이용 현황, 구조물의 변형발생 가능성이 있는 인접공사

마. 수질오염 : 하천의 상태, 배수 상태, 수로의 상태, 법규제 상태

바. 대기오염 : 대기중의 유해물, 기상현황

사. 교통장애 : 구조, 교통량 혼잡상태, 도로관리자, 도로주변의 환경 등

아. 동식물 분포 : 동식물의 현황 및 분포와 천연기념물 등 법적 보호종의 현황조사

4. 지장물조사

(1) 지장물조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 터널공사 전에 지역내에 기설치되어 있는 상수도 및 하수도관, 송유관, 통신 및 전력 케이블, 도시가스관, 지하통로, 인접터널 등 지하지장물의 종류, 평면상 위치 심도 및 크기 등을 파악하여 안전한 시공이 될 수 있도록 해야 한다.
- ② 시추조사 위치는 관련기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고 유관기관과 협의 후 반드시 인력터파기나 탐사방법 등을 이용하여 지하매설물의 유무를 확인한 후에 선정해야 한다. 또한 시추공이 터널을 직접 관통하지 않도록 위치를 계획해야 한다.
- ③ 터널 굴착으로 인하여 영향을 받을 수 있는 주변 건물, 교량 및 기타구조물 등 지상지장물의 종류, 용도, 특징 및 상태 등을 조사하여 터널굴착으로 인한 영향 검토시 자료로 활용해야 한다.
- ④ 지장물 조사결과는 후속공사시 지장물 보호를 위해 활용해야 한다.

5. 보상대상조사

터널공사에 있어서의 보상대상 사항은 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 등이 있고, 이들의 보상을 위한 자료를 얻기 위하여 필요한 조사를 해야 한다.

6. 공사용 설비 및 사토장 조사

공사용 설비 조사시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

(1) 공사용 설비로는 터널입구 설비, 환기 및 집진설비, 운반설비, 골재 및 콘크리트 플랜트 설비, 수배전 설비, 용배수 설비, 임시건물 설비 등이 있으며, 공사용 설비계획에 필요한 자료를 얻기 위하여 다음의 사항을 조사해야 한다.

- ① 지형과 지질 및 기상 : 설비기능 저해 혹은 위험 가능성이 있는 지형, 지질 및 기상
- ② 주변환경 : 주변환경에 영향을 미치는 공사용 설비의 소음, 진동, 배수, 교통, 분진
- ③ 전력의 사용 : 기가설 송배전선의 용량, 주파수, 전압, 수변전의 난이, 수전까지의 소요시간 및 거리, 개략산출 비용, 발전설비 등의 동력원, 공사용 장비 운용 시의 소요전력량
- ④ 화약고 설치계획 : 화약에 관한 법률이나 지방자치단체조례 등
- ⑤ 용배수 : 콘크리트 혼합용수, 음용수, 기타 잡용수의 취수조건, 터널시공에 수반한 용출수의 처리, 세척수의 방류조건
- ⑥ 자재 및 버력운반 : 기계 및 반출입, 버력운반 등에 필요한 공사용 도로, 궤도 등의 규격, 교통량, 교통규제의 현황 및 주변도로 이용 현황
- ⑦ 노무자재 : 터널외부 설비에 관계되는 콘크리트용 골재, 굳지 않은 콘크리트, 기타 자재의 공급경로, 공급사정의 현황 및 관리방법, 노무사정의 현황
- ⑧ 법규, 기타에 의한 규제 및 인접 지역의 공사 유무

(2) 사토장 조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 공사 중에 발생하는 버력을 처리하기 위한 사토장이 필요할 때에는 지형, 운반방법, 운반거리, 운반도로의 교통규제, 교통안전 등의 운반조건, 사토장이 주변환경에 미치는 영향, 사토후의 토지의 형태변화, 법규에 의한 규제 등에 대하여 사전에 조사해야 한다.
- ② 사토를 위한 용지취득 및 사토에 따른 보상에 대해 조사해야 한다.
- ③ 대규모 사토장을 계획할 경우에는 사토장의 활용계획에 대하여 검토해야 한다.
- ④ 사토장의 계획시 사토에 따른 지반의 안정성, 토사유출, 유해광물에 의한 환경오염 방지에 관한 조사를 실시해야 한다.

7. 수리·수문조사

(1) 수리·수문조사 시에는 다음 사항을 고려한다.

- ① 수리·수문조사는 시공 중 발생하는 용출수나 터널공사가 주변의 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 예측시 필요한 정보가 제공되도록 실시해야 한다.
- ② 터널공사로 인하여 갈수가 예상되는 우물, 저수지, 용천, 하천 등에 대하여는 그 분포, 수량의 계절적 변화, 이용상황 등을 조사하여 갈수대책의 자료로 이용해야 한다.



8. 관계법규조사

터널공사에 있어서 법규에 의한 규제를 받는 경우에는 공사에 미치는 영향의 범위, 이에 대한 규제의 정도, 수속, 대책 등에 관한 관계법을 조사해야 한다.

9. 지반조사

(1) 지반조사는 예비조사, 본조사, 보완조사로 구분하며 각 단계에서 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03020 지반조사」를 따른다.

- ① 예비조사는 계획 단계에서 부지나 노선 또는 구조물의 위치 선정을 위하여 실시하는 조사로서 넓은 범위를 대상으로 수행하며, 기존 자료조사, 인공위성사진 분석, 항공사진 판독 및 분석, 현장답사 등을 통해 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 수행하며 필요시에는 시추조사도 시행해야 한다.
- ② 본조사는 광역조사와 정밀조사로 구분되며 부지나 노선 또는 구조물의 위치가 결정된 후 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 수행하는 조사로서 지표지질조사, 지구물리탐사, 시추조사, 현장시험, 실내시험 등을 포함하며, 터널현황 등을 고려하여 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 다르게 할 수 있다.
- ③ 설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사자체에는 한계성이 있으므로 시공 시 노출되는 실제지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 해야 한다.
- ④ 소규모 공사의 경우에는 기존 조사자료를 활용하여 조사단계의 일부를 생략할 수 있으며 장대터널 및 도심지터널 공사 등에서는 보다 자세한 지반조사계획을 수립하여 실시하여야 한다.
- ⑤ 유지관리 시 터널의 주변환경변화로 구조물의 안정에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우에 대비한 지반조사를 시행해야 한다.
- ⑥ 조사 및 시험은 목적에 따라 적절하게 수행하되, 조사결과가 당초 예상한 바와 상이할 경우에는 조사계획을 변경하거나 보완조사를 추가로 시행해야 한다.
- ⑦ 지반조사항목 및 기준은 기본설계 등에 관한 세부시행기준(국토해양부), 터널설계기준(국토해양부), 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부)을 따르며 필요할 경우 별도로 정하여 실시한다.

(2) 기존 자료조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 기존 자료조사는 터널 대상 지역의 지형, 지질 조건을 파악하기 위한 것으로 이에 필요한 기초 자료를 수집하여 검토해야 한다.
- ② 자료조사는 지형도, 지질도, 지하수개발현황, 지하매설물도, 기존 구조물 도면, 터널 주변 지역의 재해이력 등의 자료를 수집하여 지형과 지반 및 입지여건과 관련된 사항을 파악할 수 있도록 해야 한다.

(3) 현장답사시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 지형이나 지질 및 지반상태를 확인하거나 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인하고 시공에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건을 파악해야 한다. 또한, 향후 지반조사 및 시험 계획 수립에 필요한 사항을 현장에서 파악하는 것으로, 지표의 지형 및 지질을 상세히 관찰 검토해야 한다.
- ② 현장답사 시 조사해야 할 주요 내용은 다음과 같다.
 - 가. 지형변화 : 옛 제방흔적과 범위 및 수로, 철도, 쌓기 매립 등의 토공 흔적이나 상태, 산사태지형을 표시하는 지역에서는 그 활동 흔적이나 범위
 - 나. 지표수 및 지하수 : 용출수, 우물의 수위와 그의 계절적 변동, 피압지하수의 유무, 호우, 강설 시 등의 저수, 배수의 상태
 - 다. 인근 구조물 유지상태 : 도로 및 철도의 제방, 교대 및 교각, 기타 중요 구조물의 침하균열이나 경사도, 굴곡 등의 변상 유무
 - 라. 지하 매설물 : 상하수도, 가스관, 통신 및 전력케이블, 지하철, 지하도, 공사현장 부근에 있는 경우는 그 영향의 정도, 건물기초 등
 - 마. 수송로 : 트럭, 중차량의 출입제한 유무, 교통상황, 소음, 진동, 공해 등
 - 바. 조사위치 및 장비 이동통로 : 지반조사 항목별 조사실시위치와 대형장비의 이동 가능한 경로 등
- (4) 지표 지질조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
 - ① 지표 지질조사는 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포 및 상태 등을 파악하여 기 실시된 조사의 보완자료로 활용할 수 있도록 수행해야 한다.
 - ② 일반적으로 지표 지질조사를 목적으로 하는 항공사진 판독은 1/10,000 이상의 축적으로 촬영된 항공사진의 이용이 바람직하며 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다.
 - ③ 지표 지질조사에 이용되는 지형도의 축척은 1/5,000을 기본지형도로 하며 지질분포의 복잡성에 따라 축척은 조정하여 사용할 수 있다.
 - ④ 지표 지질조사는 터널공사에 제한조건으로 작용하는 층리, 절리, 습곡, 단층 및 단층대 등과 같은 지질구조, 지표에서 관찰되는 공동, 암종 분포 등과 같은 지질특성을 파악하고 필요시 물리탐사결과와 비교분석하여 큰 축척의 지질도를 1차적으로 작성한 후 본조사의 효율적 계획수립에 반영해야 한다.
 - ⑤ 1차적으로 작성된 지질도는 본조사의 시추조사, 시험결과 및 물리탐사 결과와 비교분석하여 지질구조의 특성을 보완하고 표층지반, 암질, 지하공동, 암종경계, 지하수 등의 사항을 표시한 지질평면도, 지질종단면도 등을 최종적으로 작성하여 터널설계에 반영해야 한다.
- (5) 시추조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
 - ① 터널시공 구간내의 지반에 대한 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 흐트러진 또는 흐트러지지 않은 시료를 채취하며 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 실시해



야 한다.

- ② 시추는 NX규격 이중 코아배럴을 사용하여 실시하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 대심도 시추 시에는 NQ규격도 사용할 수 있다. 또한, 풍화대나 파쇄대 등에서는 코아의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코아배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.
- ③ 시추공 내 횡방향 재하시험, 현장투수시험, 간극수압 측정 등을 수행할 경우 시추공의 크기는 NX 이상이어야 한다.
- ④ 시추는 연직으로 실시하되 조사목적과 현장조건을 고려하여 경사 및 수평시추를 할 수 있다.
- ⑤ 터널 갱구부 및 저토피 구간에서는 필요로 하는 시추조사 및 물리탐사를 등을 시행하여 지층 변화를 상세히 파악해야 한다.
- ⑥ 터널에서 시추공은 노선방향으로 50~100m 간격으로 배치하는 것을 표준으로 하되, 산악터널(대심도, 장대터널 등)과 같이 시추조사가 원활히 이루어지기 어려운 지형의 경우, 광역조사결과를 바탕으로 지반분야 책임기술자의 판단에 의해 시추조사 간격을 조정할 수 있다. 단, 시추조사를 수행하지 못한 구간은 지표지질조사 및 물리탐사 등의 조사를 상세히 수행하여 보완하도록 하여야 한다.
- ⑦ 시추심도는 터널 바닥부의 계획심도에서 터널 최대직경의 1/2 이상의 깊이까지 실시하되 특정한 목적 또는 물리탐사 등으로 파쇄대·연약대 등의 존재 확인시는 필요한 심도까지 증가시킬 수 있다.
- ⑧ 시추공의 간격 및 심도는 <표 2>에 의하는 것을 표준으로 하되 도심지와 산악지, 단층 파쇄대 등의 지형 및 지질 특성에 따라 최적설계를 위한 지반조사 자료 도출을 위해 시추공수를 증대시킬 수 있다.

표 2. 시추공의 간격과 심도

구분	시추공의 배치		시추심도기준	비고
터널 구간 (NX)	기본 계획	터널 입출구부에 각 1공	FL하 D/2 (D : 터널최대직경)	토질, 지형조건, 산악터널 등과 단층, 파쇄대 등 지층이 불규칙한 경우는 증감
	기본 설계	3개소이상 기준 (터널 입출구부 포함)		
	실시 설계	50m~100m 간격 (터널 입출구부 포함) 저토피(토피고 2D 미만) 20~30m 간격		

※ 1) 터널 굴착 위치별(도심지, 산악지 등) 시추공 배치 변동 가능

2) 지질, 지반 취약 구간 예상시 추가 시추 가능

3) 저토피 구간의 시추간격 및 심도는 물리탐사 결과와 선행 시추자료를 참조하여 조정 가능

- ⑨ 시추공의 배치 시 갱구부는 반드시 포함하도록 하며 터널 노선에 대하여 지반조건 파악이 가능하도록 취약구간을 포함한 시추조사 계획을 수립해야 한다.
 - ⑩ 시추조사를 위한 접근이 곤란한 산악지형은 시추공 간격을 조정할 수 있으며 항공(위성)사진 판독과 탄성파탐사 및 전기비저항 탐사를 실시하고 그 결과를 토대로 지반조건이 불량한 구간에는 시공 중 수평시추조사를 계획해야 한다. 접근 가능한 갱구부는 필요한 개소만큼의 시추조사를 실시해야 한다.
- (6) 시험터널 조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
- ① 특수한 지반상태를 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 최소화해야 한다.
 - ③ 시험터널 조사 시에는 터널의 지질도를 작성하여 종합분석에 참고해야 한다.
- (7) 하·해저터널의 지반조사 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
- ① 조수간만의 차이가 발생하는 경우 지반조사 자료의 품질향상 및 안전을 고려하여 적절한 조사장비 및 자재를 선정해야 한다.
 - ② 시추위치를 선정할 때 특별한 언급이 없을 경우는 DGPS에 의하여 결정한다.
 - ③ 해상 지층탐사는 고정밀 분해능력을 갖는 탄성파 탐사장비를 탑재한 조사선을 등심선에 직각방향으로 운항하여 실시하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있으며, 위치는 WGS-84 등 국제 공용 좌표계로 표시한다.
 - ④ 탐사기는 기반암과 퇴적층을 명확히 기록할 수 있도록 최대한 일정간격으로 기록해야 하며, 암반의 심도는 기본수준면 하의 깊이(수심+퇴적층 두께)로 표기한다.

10. 시험

- (1) 현장시험 시에는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03020 지반조사」를 따른다.
- ① 자연상태의 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장시험은 시험항목별로 대상 지반에서의 적용성을 검토하여 수행해야 한다.
 - ② 시험항목과 빈도는 공사의 특성, 현장여건 등 제반사항을 감안하여 선정하며 상기의 시험항목 이외에도 필요한 목적이 있을 경우 목적에 적합한 시험방법을 선정할 수 있다.
- (2) 실내시험시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
- ① 실내시험은 대상지반에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하여 시행해야 한다.
 - ② 실내시험은 지반조건, 지질구조, 굴착방법, 설계기법 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정해야 한다.



- ③ 실내시험은 한국산업규격(KS) 및 국토해양부 발행 기술지도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행해야 한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.
- ④ 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며 시료의 제작 및 시험방법은 국내·외에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용해야 한다.
- ⑤ 내진검토를 위한 동적지반정수 산정을 위하여 공진주시험, 비틀전단시험, 자유단공진주시험, 진동삼축압축시험 등과 물리탐사인 하향식탄성파탐사, 시추공간 탄성파탐사, S-PS검층, 음파검층, 밀도검층 등을 설계 목적에 적합하게 선정하여 수행해야 한다.

11. 공동 또는 싱크홀 조사

- (1) 터널 계획시 지하공동 및 싱크홀의 유무, 규모, 상태, 발생원인 등을 확인하기 위한 조사를 실시하여야 한다.
- (2) 터널 시공시 용출수 및 지하수위 측정 등을 통해 주변 지하수 변동을 파악하여야 한다.
- (3) 터널 시공에 의해 영향을 받을 수 있는 범위를 선정하고 이 범위에 포함되는 근접 구조물 및 매설물(상하수도관, 송유관, 통신 및 전력 케이블, 도시가스관, 기타 지중 구조물 등)에 대하여 각 시설의 관리 주체 및 관리대장, 노후도, 장래확장 계획 여부를 조사하고 누수 등으로 인하여 지반함몰이 예상되는 경우에는 상세조사를 시행하여 설계 시 기초자료로 활용한다.

12. 시공 중 보완조사

- (1) 시공 중 보완조사 시는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03020 지반조사」를 따른다.
 - ① 시공 중 보완조사는 예비조사와 본조사 단계에서 민원 등 부득이한 이유나 기술적 한계 등으로 인하여 필요로 하는 조사가 시행되지 못한 경우, 또는 시공 중 지반변화가 예상되어 추가조사가 필요한 경우에 실시해야 하며 현장여건을 고려하여 필요한 지반정보가 얻어질 수 있도록 조사항목을 선정해야 한다.
 - ② 시공 중 보완조사의 목적은 굴진면 전방과 굴진면주변의 지반상태를 파악하는데 있으며 시공 중 관찰되는 노출된 지반의 상태를 분석하여 예기치 않았던 지반변화나 시공 중의 예측결과가 이상치를 보일 경우 반드시 필요한 추가조사 및 시험을 실시해야 한다.
 - ③ 시공 중 보완조사는 일상적으로 굴진면 지질매핑(Geological Mapping)이 시행되어야 하며, 필요한 경우 감지공 천공(Feeler Hole), 수평시추 및 터널 내 물리탐사 등을 통하여 굴진면 전방에 대한 지질특성을 조사할 수 있다. 경암반 터널의 록볼트

를 포함한 지보패턴 변경은 지질매핑 등 시공 중 보완조사 결과에 근거해야 하며, 필요시 굴진면전방조사를 통하여 보조공법 적용여부를 판단하는 등 사전 공사준비를 위한 자료로 제공되어야 한다.

13. 지반조사 성과의 정리

- (1) 조사 성과는 터널노선 계획, 설계 및 시공, 유지관리 시 활용할 수 있도록 정리해야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03020 지반조사」를 따른다.
- (2) 터널 공사는 막장의 자립성, 막장내 용출수, 편압의 작용, 갱구부의 비탈면붕괴 및 활동가능성, 인접 구조물에 대한 영향, 지반의 팽창성 등이 중요한 요소가 되므로 다음과 같은 취약 지반조건에 대한 평가가 수행되어야 한다.
 - ① 미고결 사질지반이나 단층, 파쇄대에서는 돌발적인 용수가 발생할 수 있으므로 이에 따른 지반 자립성의 저하 및 붕괴 가능성에 대한 검토가 수행되어야 한다.
 - ② 갱구부에서의 비탈면붕괴나 활동은 공사의 진척에 영향을 미칠 수 있으므로 광범위한 지형관찰, 과거의 산사태나 비탈면붕괴 기록 등을 검토해야 한다.
 - ③ 토피가 얇은 구간, 편압 발생 지형, 애추 구간, 산사태 지역 등은 터널 굴착시 붕괴 및 지반활동을 야기할 우려가 있으므로 굴착공법, 지보공, 보조공법 등을 면밀하게 검토해야 한다.
 - ④ 지반평가는 패턴설계, 시공방법의 결정 및 시공 시 예측결과의 판정 등에 중요한 기준을 제공하므로 조사 및 시험 결과와 설계·시공사례를 토대로 객관적으로 평가되어야 한다.
- (3) 지반분류시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
 - ① 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사목적에 부합되도록 지반을 분류해야 한다.
 - ② 토사층은 통일분류법(USCS) 등에 따라서 세분해야 한다.
 - ③ 암반분류시에는 다음 사항 중 필요한 사항을 선정하여 분류해야 한다.
 - 가. 압축강도
 - 나. 탄성과 속도
 - 다. 변형계수
 - 라. RQD
 - 마. 불연속면의 간격 또는 빈도
 - 바. 불연속면의 상태(거칠기, 풍화도, 연속성, 틈새, 충전물의 두께와 특성 등)
 - 사. 불연속면의 주향 및 경사
 - 아. 지하수 상태
 - 자. 초기응력 상태
 - 차. 암석종류, 풍화도, 수침시의 특성 등 암반의 거동특성에 영향을 주는 지반특성



- ④ 지보재 설계를 위한 암반분류는 RMR, Q-system 등을 적용할 수 있으며 특히 RMR의 경우 일축압축강도나 RQD 등 계량화가 가능한 평가요소의 경우는 Bieniawski의 제안 그래프(1989)를 이용하여 점수를 산정할 수 있다. RMR에 의한 암반분류는 5등급으로 분류하는 것을 원칙으로 하되, 터널의 크기, 용도 및 지역특성을 고려하여 5등급 이상으로 세분화할 수 있다. 함수미고결지층 등과 같이 특수한 지반조건이 존재할 경우에는 이를 별도의 지반등급으로 분류해야 한다.
- (4) 조사결과 정리시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
- ① 지표지질조사 결과는 응용지질도로 정리해야 하며 응용지질도는 터널구간을 포함하는 광역지질도(1/25,000)와 정밀응용지질도(1/5,000)로 구분하여 작성해야 한다.
 - ② 시추조사 결과는 일정한 양식의 시추 주상도에 정리해야 하며, 지층설명은 색조, N 값, 강도, 풍화도, 균열상태, 암석명, TCR, RQD 등을 포함하여 상세하게 기록하고 시추 주상도와 지구물리탐사 등 관련자료를 참고하여 터널구간의 지질단면도를 작성해야 한다.
 - ③ 채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리해야 한다.
 - ④ 시료상자에 정리된 시추코아는 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에서 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리해야 하며 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록해야 한다.
- (5) 조사자료는 추후 유지관리시 활용가능토록 보존해야 한다.

해설 1. 지반조사

1. 지반조사의 일반

- (1) 지반조사는 예비조사, 본조사, 보완조사로 구분하여 시행해야 한다.
- (2) 예비조사는 계획 단계에서 부지나 노선 또는 구조물의 위치 선정을 위하여 실시하는 조사로서 넓은 범위를 대상으로 수행하며, 기존 자료조사, 인공위성사진 분석, 항공사진 판독 및 분석, 현장답사 등을 통해 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 수행하며 필요시에는 시추조사도 시행해야 한다.
- (3) 본 조사는 광역조사와 정밀조사로 구분되며 부지나 노선 또는 구조물의 위치가 결정된 후 지층의 분포, 지질구조, 공학적인 특성 등 설계정수를 파악하기 위하여 수행하는 조사로서 지표지질조사, 지구물리탐사, 시추조사, 현장시험, 실내시험 등을 포함하며, 터널현황 등을 고려하여 조사 및 시험의 진행방법이나 중점 조사사항을 다르게 할 수 있다.
- (4) 설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사자체에는 한계성이 있으므로 시공 시 노출되는 실제지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 해야 한다.
- (5) 소규모 공사의 경우에는 기존 조사자료를 활용하여 조사단계의 일부를 생략할 수 있으며 장대터널 및 도심지터널 공사 등에서는 보다 자세한 지반조사계획을 수립하여 실시하여야 한다.
- (6) 유지관리 시 터널의 주변 환경변화로 구조물의 안정에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우에 대비한 지반조사를 시행해야 한다.
- (7) 조사 및 시험은 목적에 따라 적절하게 수행하되, 조사결과가 당초 예상한 바와 상이할 경우에는 조사계획을 변경하거나 보완조사를 추가로 시행해야 한다.
- (8) 각 지반조사 항목 및 기준은 기본설계 등에 관한 세부기준(국토해양부)을 기준으로 하며 필요할 경우 별도로 정하여 실시한다.

2. 예비조사

2.1 자료조사

- (1) 기존의 자료조사는 터널 대상 지역의 지형, 지질 조건을 파악하기 위한 것으로 이에 필요한 기초 자료를 수집하여 검토해야 한다.
- (2) 자료조사는 지형도, 지질도, 지하수개발현황, 지하매설물도, 기존 구조물 도면, 터널 주변 지역의 재해이력 등의 자료를 수집하여 지형과 지반 및 입지여건과 관련된 사항을 파악할 수 있도록 해야 한다.



(3) 기존의 지반자료 조사는 예비조사에 우선하여 시행한다.

표 3. 기존 자료조사의 내용

조사대상	조 사 내 용	자료 구입처
기존구조물	기존 구조물의 배치, 설계도면, 시공관련자료, 현상태 등을 검토함으로써 개략적인 주변 지반조건, 지지력, 위험요소 등을 파악	현장답사 사용주 탐문
인접지역 조사자료	인접지역 조사자료를 활용하여 조사지역의 지반의 종류 및 조건, 지하수 분포상태 등을 파악	구·군청, 인접구조물소유자·설계자 한국지질자원연구원
지형도 항공사진	현재 및 과거의 지형도를 분석하여 지질경계, 선구조, 파괴지형, 식생, 수계 등의 분포상태를 파악하여 시추, 골재원, 토취장, 혹은 채석장 등의 조사에 활용하고 현장조사시의 시추위치, 시추장비의 진입 가능성 및 시추 용수의 취득 가능성 등을 파악	중앙지도문화사 산림청 국립지리정보원
지질도	지층의 분포, 지질구조(단층, 습곡, 절리, 선구조)의 발달과 특성 및 공동의 발달 유무 등을 분석하여 터널 굴착조건을 예측하고 노선결정과 조사계획 수립에 반영	한국지질자원연구원
토양도	토양도는 주로 표토의 영농자료를 제공하나 토양의 비옥도나 수분상태 등의 성질로 부터 흙의 물리화학적 및 공학적 특성 추정가능	농림수산식품부 한국농어촌공사
우물현황	지하수 이용을 위한 우물개발 현황으로 부터 지하수 부존상태, 지하수위 상태 등의 지하수 특성과악	한국농어촌공사 우물소유주

2.2 현장답사

- (1) 지형이나 지질 및 지반상태를 확인하거나 과거의 지형변화 등에 대한 정보를 입수하여 조사자료에서 나타난 사항을 확인하고 시공에 영향을 줄 수 있는 제반 현장여건을 파악해야 한다. 또한, 향후 지반 조사 및 시험 계획 수립에 필요한 사항을 현장에서 파악하는 것으로, 지표의 지형 및 지질을 상세히 관찰 검토해야 한다.
- (2) 현장답사는 반드시 경험 있는 관련기술자에 의해 이루어져야 한다.
- (3) 현장답사의 결과는 정리하여 계획 및 설계에 반영할 수 있도록 하며 이미 계획된 사항에 대해서는 문제점을 파악하여 변경하거나 보완할 수 있도록 해야 한다.
- (4) 현장답사 중 유의사항은 계획된 구조물의 위치를 확인하여 불량한 지반에 위치하였을 경우 이를 양호한 지반으로 이동시키거나 설계자로 하여금 구조물의 형태 및 규모 등을 조정할 수 있도록 해야 한다. 필요에 따라 삽 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역전반에 대한 개략적인 지반조건을 조사하고 시추계획에 반영해야 한다.
- (5) 조사구역 인근에 구조물이 있을 때에는 그 기초의 형식, 규모, 그 구조물의 침하나 경사 등의 유무와 그의 정도를 조사해야 한다.

(6) 현장답사시 조사하여야 할 주요 내용은 다음 <표 4>과 같다.

표 4. 현장 답사시의 주요조사내용

대상구분	주요조사내용
지형변화	옛 제방흔적과 범위 및 수로, 철도, 쌓기, 매립 등의 토공 흔적이나 상태, 산사태지형을 표시하는 지역에서는 그 활동 흔적이나 범위
지표수 및 지하수	용출수, 우물의 수위와 그의 계절적 변동, 피압지하수의 유무, 호우, 강설시 등의 저수, 배수의 상태
인근구조물 유지상태	도로 및 철도의 제방, 교대 및 교각, 기타 중요 구조물의 침하균열이나 경사도, 굴곡 등의 변상 유무
지하매설물	상하수도, 가스관, 통신 및 전력케이블, 지하철, 지하도, 공사현장 부근에 있는 경우는 그 영향의 정도, 건물기초 등
수송통로	트럭, 중차량의 출입제한 유무, 교통상황, 소음, 진동, 공해 등
조사위치 및 장비 이동통로	지반조사 항목별 조사실시위치와 대형장비의 이동 가능한 경로 등

3. 본조사

3.1 지표지질조사

- (1) 지표지질조사는 지형, 토질, 지질구조, 암상과 지층, 지하수 등의 종류, 분포 및 상태 등을 파악하여 기 실시된 조사의 보완자료로 활용할 수 있도록 수행해야 한다.
- (2) 일반적으로 지표지질조사를 목적으로 하는 항공사진 판독은 1/10,000 이상의 축적으로 촬영된 항공사진의 이용이 바람직하며 인공위성 사진인 경우에는 별도의 제한이 없다.
- (3) 지표지질조사에 이용되는 지형도의 축척은 1/5,000을 기본지형도로 하며 지질분포의 복잡성에 따라 축척은 조정하여 사용할 수 있다.
- (4) 지표지질조사는 터널공사에 제한조건으로 작용하는 층리, 절리, 습곡, 단층 및 단층대 등과 같은 지질구조, 지표에서 관찰되는 공동, 암종 분포 등과 같은 지질특성을 파악하고 필요시 물리탐사결과와 비교분석하여 큰 축적의 지질도를 1차적으로 작성한 후 본조사의 효율적 계획수립에 반영해야 한다.
- (5) 1차적으로 작성된 지질도는 본조사의 시추조사, 시험결과 및 물리탐사 결과와 비교 분석하여 지질구조의 특성을 보완하고 표층지반, 암질, 지하공동, 암종경계, 지하수 등의 사항을 표시한 지질평면도, 지질종단면도 등을 최종적으로 작성하여 터널설계에 반영해야 한다.
- (6) 지표지질조사시의 세부조사사항은 다음 <표 5>과 같다.



표 5. 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, 고결 정도, 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, 수온, 수질, 대수층의 구성, 지하수위, 대수층과 지질과의 관계, 용출수상황 등
지하공동	자연공동(석회동굴등), 광산갱도, 폐광 등의 과거 갱도
암반거동	팽창성 및 유동성 지반의 유무나 분포상태, 용출수에 의한 붕괴 가능 지반의 유무와 분포범위, 편압가능성 등

3.2 시추조사

- (1) 터널시공 구간내의 지반에 대한 지층의 구성과 지하수위를 파악하고 흐트러진 또는 흐트러지지 않은 시료를 채취하며 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 실시해야 한다.
- (2) 시추는 원칙적으로 NX규격 이중 코어배럴을 사용하여 실시하여야 하며 대심도시추 시에는 NQ규격도 사용할 수 있다. 또한, 풍화대나 파쇄대 등에서는 코어의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코어배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.
- (3) 시추공 내 횡방향 재하시험, 현장투수시험, 간극수압 측정 등을 수행할 경우 시추공의 크기는 NX 이상이어야 한다.
- (4) 시추는 원칙적으로 연직으로 실시되 조사목적과 현장조건을 고려하여 경사 및 수평 시추를 할 수 있다.
- (5) 터널갱구부 및 저토피구간에서는 충분한 시추조사 및 물리탐사 등을 시행하여 지층 변화를 상세히 파악해야 한다.
- (6) 시추조사 위치는 관련 기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고 유관기관과 협의 후 반드시 인력터파기나 탐사방법 등을 이용하여 지하매설물의 유무를 확인한 후에 선정해야 한다. 또한 시추공이 터널을 직접 관통하지 않도록 위치를 계획해야 한다.
- (7) 시추공의 간격 및 심도는 <표 6>에 의하는 것을 표준으로 하고 도심지와 산악지, 단층파쇄대 등의 지형 및 지질 특성에 따라 최적설계를 위한 지반조사 자료 도출을 위해 시추공수를 증대시킬 수 있다.

표 6. 시추공의 간격 및 심도

구분	시추공의 배치		시추심도기준	비고
터널 구간 (NX)	기본 계획	터널 입출구부에 각 1공	FL하 D/2 (D:터널최대직경)	토질, 지형조건, 산악터널 등과 단층, 파쇄대 등 지층이 불규칙한 경우는 증감
	기본 설계	3개소이상 기준 (터널 입출구부 포함)		
	실시 설계	50m~100m 간격 (터널 입출구부 포함) 저토피(토피고 2D 미만) 20~30m 간격		

※ 1) 터널 굴착 위치별(도심지, 산악지 등) 시추공 배치 변동 가능

2) 지질, 지반 취약 구간 예상시 추가 시추 가능

3) **저토피** 구간의 **시추간격 및 심도는 물리탐사 결과와 선행 시추자료를 참조하여 조정 가능**

- (8) 시추공의 배치시 갱구부는 반드시 포함하도록 하며 터널 노선에 대하여 지반조건 파악이 가능하도록 취약구간을 포함한 시추조사 계획을 수립해야 한다.
- (9) 시추조사를 위한 접근이 곤란한 산악지형은 시추공 간격을 조정할 수 있으며 항공 (위성)사진 판독과 탄성파탐사 및 전기비저항 탐사를 실시하고 그 결과를 토대로 지반조건이 불량한 구간에는 시공 중 수평시추조사를 계획해야 한다. 접근 가능한 갱구부는 필요한 개소만큼의 시추조사를 실시해야 한다.
- (10) 시추심도는 원칙적으로 터널 바닥부의 계획심도에서 터널 최대지름의 1/2 이상의 깊이까지 실시하되 특정한 목적 또는 물리탐사 등으로 파쇄대·연약대 등의 존재 확인 시는 필요한 심도까지 증가시킬 수 있다.
- (11) 시추공의 지하수위 측정은 시추종료 후 24시간 후에 실시하여야 하며, 필요시 72시간 경과 후에 측정하여 안정된 수위를 산정해야 한다.
- (12) 시추공은 결합재 풀이나 모르타르로 폐쇄해야 한다. 시추공 폐쇄작업은 시추공에 의한 지하수 오염을 방지하고, 하나 이상의 대수층이 있는 경우 지하수의 상하이동이 나, 지하수가 섞이지 않도록 하여 지하수 유동으로 인한 오염의 확산을 방지해야 한다.
- (13) 시료의 관찰과 각종시험을 하기 위하여 시료채취를 하여야 하며, 채취한 흙은 교란 시료와 비교란시료로 구분하여 토질시험용으로 제공한다. 시료채취 방법과 특징에 대해서는 KS F 2317, 2318, 2319를 참고로 해야 한다.
- (14) 지하수조사는 지하수 자체의 조사와 대수층의 분석 및 성질 등의 조사로 분류해야 한다. 지하수조사의 중요한 항목은 <표 7>과 같다.



표 7. 지하수조사

종 별	조 사 항 목	조 사 방 법
지하수의 조사	지하수위의 측정	우물, 시추를 이용한 수위측정
	간극수압의 측정	간극수압계에 의한 측정
	흐름방향과 속도측정	수온, 비저항, 유속측정
	수질시험	pH, 경도, 비저항, 각종 화학분석
대수층의 조사	분포의 범위, 두께	시추, 전기탐사, 전기검층, 지하수 검층
	투수성	양수시험, 투수시험
	물리적성질	입도시험, 간극비 측정, 전기검층

4. 지구물리탐사

4.1 지구물리탐사 일반

- (1) 물리탐사는 지층의 성층상태와 그 성질, 표토 또는 풍화층의 두께와 성질, 기반의 성질과 표면상태, 파쇄대의 위치와 규모, 공동의 위치와 규모, 지하수의 존재 등을 조사하는 것을 원칙으로 한다. 물리탐사는 일반적으로 지표에서 시행되나 보다 정밀한 자료를 획득하기 위해서 시추공 내에서 실시할 수 있으며 지반정보를 얻기 위해 실시하는 물리탐사기법은 반드시 현장적용성을 검토해야 한다.
- (2) 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.
- (3) 전기검층은 보다 정밀한 주상도를 얻는 것과 지층의 성질을 확인하는 것을 목적으로 해야 한다. 또한 음파검층은 P파와 S파의 전파속도와 각 지층의 동탄성계수를 산정하는 것을 목적으로 해야 한다.
- (4) 터널 근접부의 파쇄대 분포탐지나 지하공동을 탐지함에 있어서 지표레이더 탐사, 시추공 레이더 또는 지오토모그래피 등 정밀물리탐사 기술을 조합, 활용하면 고해상도의 영상을 얻을 수 있다.
- (5) 물리탐사로 측정되는 각종 측정값은 지반의 역학적, 공학적 성질을 그대로 나타낸 것이 아니고 전체의 지반상태를 나타내는 것이다.
- (6) 다른 조사를 병용해서 그 해석에 틀림이 없도록 해야 한다.
- (7) 물리탐사법 중 주로 쓰이는 것은 <표 8>과 같다.

표 8. 설계를 위한 대표적인 지표물리탐사법

탐사장소	분류	대표적 탐사방법	측정대상	주 사용 탐사법
지표탐사	탄성파탐사	· 굴절법 탄성파탐사 · 반사법 탄성파탐사	탄성파 도달시간 및 파형	굴절법 탄성파
	전기탐사	· 수평탐사(Profiling) · 수직탐사(Sounding)	전기비저항	쌍극자배열
	전자탐사	· 주파수영역 탐사 · 시간영역 탐사	유도전류의 위상 및 진폭	Image EM 탐사
	GPR탐사	· 반사법 GPR탐사	반사레이다파	저주파안테나

(8) 터널 지반조사에서의 지구물리탐사는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 탄성파탐사를 수행할 경우에는 전파속도로 부터 지층의 두께, 종류, 상대적인 지반 강도, 연약대 및 파쇄대 등에 관한 정보를 얻을 수 있도록 해야 한다.
- ② 전기탐사를 수행할 경우에는 지층의 특성 및 지하수의 영향 등을 고려하여 해석해야 한다.
- ③ 지구물리탐사의 결과는 현장측정자료, 자료의 적절한 전산처리결과 및 최종해석결과로 나타내어야 하며, 사용장비명, 측선 및 측정위치도와 현장탐사시 특기사항의 자세한 서술을 포함해야 한다.
- ④ 탐사결과를 해석한 단면은 탐사자료를 기초로 해석한 기반암의 분포, 연약대 또는 파쇄대의 발달 정도 등 도식적 또는 서술적 해석결과가 첨부되어 설계 및 시공에 유용한 정보를 제공할 수 있어야 하며 필요한 경우 시추결과 또는 지질조사 결과와의 비교해석이 포함되어야 한다.

또한 내진설계를 위한 설계지반운동이 필요한 경우 적어도 기반면의 기준이 되는 전단파속도(V_s)가 760m/sec 되는 정도의 깊이까지 탐사해야 한다.

4.2 굴절법 탄성파탐사

- (1) 측선의 배치는 현지의 상황에 따라 조사목적에 지장을 주지 않는 범위 내에서 변경할 수 있다.
- (2) 측선단의 파일과 측선중간의 파일은 크기를 변화시키거나 색깔별로 구분하여 보존할 수 있는 표시가 훼손되지 않도록 방호해야 한다. 또한 조사자는 기준점의 위치와 높이를 확인해야 한다.
- (3) 조사자는 시험에 필요한 화약의 사용과 보관을 관계법령에 따라 하여야 하며 위해 및 도난을 방지해야 한다.
- (4) 발파 시에는 사고방지를 위해 안전원을 배치하고, 사이렌, 호각 등에 따라 주의를 환기시켜야 한다.

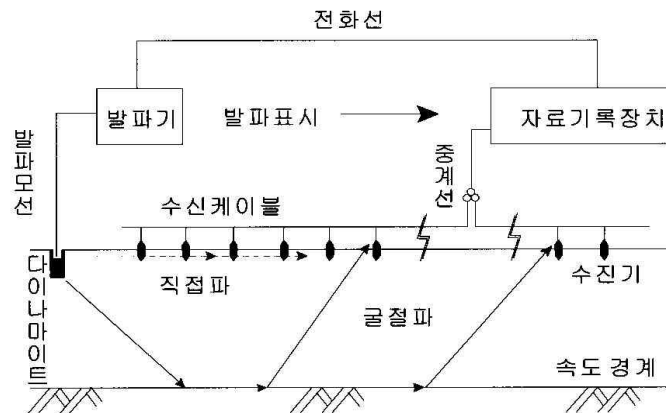


그림 3. 굴절법탄성파탐사

- (5) 발파공은 조사종료 후 다짐하여 되메워야 한다.
- (6) 2점 이상 연속한 측점에서 결측된 경우에는 재측정을 해야 한다.
- (7) 측정결과는 측선배치도, 주시곡선도 및 단면도로 작성하여 정리해야 한다.
- (8) 주시곡선도 또는 단면도에는 해석내용을 명시해야 한다.
- (9) 다음과 같은 지반에서는 해석상 문제가 있기 때문에 암석자료, 지질답사, 시추조사 등의 다른 조사결과를 참조하여 해석하여야 하며 불명확한 점이 있는 경우에는 보고서에 명기해야 한다.
 - ① 지형의 요철이 심한 지반
 - ② 미고결 모래, 자갈층 등이 혼합된 암질변화가 매우 심한 지반
 - ③ 사문암 지대와 같이 탄성파속도와 암반의 성질이 일치하지 않는 지반조건
 - ④ 탄성파속도가 큰 속도층이 저속도층의 상부에 위치하는 지반
 - ⑤ 주시곡선에 나타나지 않는 속도층이 존재하는 경우
 - ⑥ 파쇄대나 연약층 등이 완만한 경사를 이루는 경우의 경사각
 - ⑦ 단층이나 암맥등의 경사각
 - ⑧ 포화, 함수되어 있는 경우 지층의 판별
 - ⑨ 잡음(Noise)이 있는 경우
- (10) 기타 문제점은 다음과 같은 것들이 있다.
 - ① 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 전파거리가 매우 짧다.
 - ② 산악지형의 경우 측선이 경사면을 따라 올라가다 정상을 지나 내려가는 경우 내리막

측선에 있는 지오폰(Geophone)에서는 굴절파보다 직진파가 먼저 도달할 수 있어 해석에 문제가 발생한다. 현재와 같이 주시곡선으로만 해석할 경우 이러한 지형의 굴곡에 의한 영향을 고려할 수가 없다.

- ③ 굴절법 탐사의 경우 수직적인 지층의 속도변화를 추정하는 데는 탁월하나 파쇄대와 같은 수평적인 지층변화는 감지가 힘들다. 특히 파쇄대가 수평경계면 아래에 있을 경우에는 이를 탐지하기가 매우 어렵다. 터널통과구간에 대한 지반정보를 얻기 위해서 지표에서 하는 방법으로는 전기비저항 탐사나 탄성파반사법 탐사가 있을 수 있고 보다 정밀하게 알기 위해서는 시추공을 이용한 각종 토모그래피(탄성파, 레이더, 전기비저항) 방법을 사용해야 한다.

4.3 전기탐사

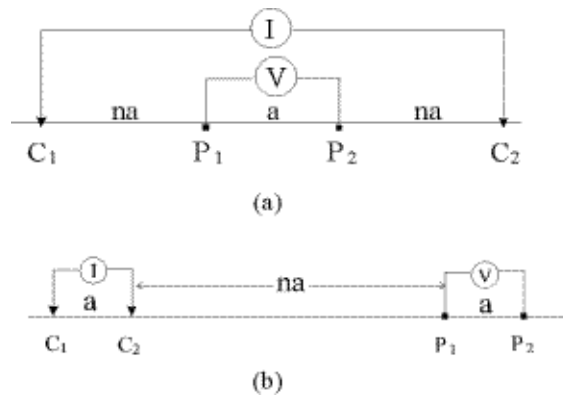


그림 4. 전기비저항탐사에 사용되는 각종 배열
(슬러머저 배열법(a)과 쌍극자 배열법(b))

- (1) 측선의 배치는 현지의 상황에 따라 조사목적에 지장을 주지 않는 범위내에서 변경할 수 있다.
- (2) 전극의 배치는 탐사목적에 맞게 설정하고, 전극의 간격은 탐사하고자 하는 지반의 심도와 전극배열에 따라 적절히 선택할 수 있다.
- (3) 최대 전극간격의 선정은 탐사심도에 따른다.
- (4) 전극의 전개는 현장여건상 할 수 없는 경우를 제외하고 예상되는 지질구조의 주향에 직각방향으로 해야 한다.
- (5) 측정은 측정치를 비저항 전극간격곡선($\sigma-a$)에 플롯(Plot)하거나 또는 제어컴퓨터 상에서 확인하면서 수행하고 이상적인 값이 얻어졌을 때에는 바로 전극을 바꿔 재측정을 실시해야 한다.
- (6) 탐사결과는 측정배치도와 수직탐사의 경우는 겹보기 전기비저항곡선, 쌍극자배열 전기비저항탐사의 경우는 겹보기 전기비저항 가단면도에 정리하며, 이외에 해석결과에 따른 비저항 등가선도 등을 작성해야 한다.



4.4 전자탐사

- (1) 전기탐사를 수행할 수 없거나 또는 올바른 자료획득이 어려운 지역, 즉 콘크리트나 아스팔트 포장지역이나 전극과 땅의 접촉이 불량할 수밖에 없는 지역에서는 동일한 전기비저항 단면을 제공할 수 있는 전자탐사기술을 사용할 수 있다.
- (2) 기준측선의 설정, 측선간격, 측선의 총연장, 측점간격은 현지의 상황에 따라 조사목적에 지장이 없는 범위내에서 변경할 수 있다.

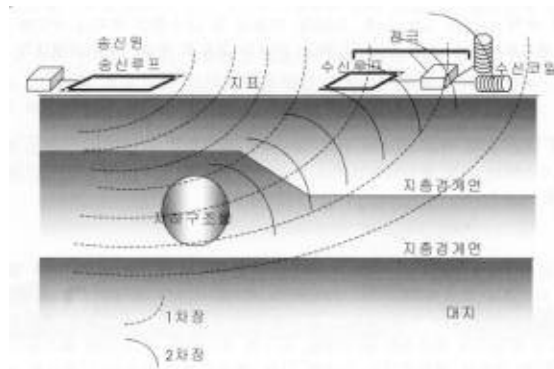


그림 5. 전자탐사의 원리

4.5 지표레이더(GPR) 탐사

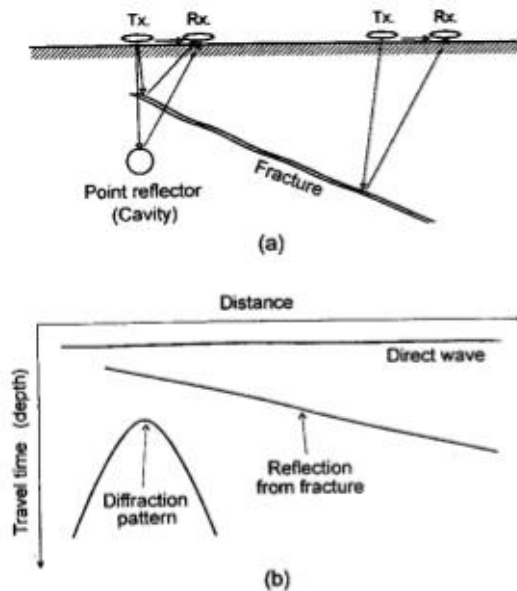


그림 6. (a) 지표레이더 탐사의 원리,
(b) 점반사원 및 반사원반사 영상모식도

- (1) 지표레이더 탐사는 지하에 묻혀있는 대상체를 찾아내거나 지하에 존재하는 불균질 또는 파쇄대 등의 지질학적 구조를 규명하는데 사용할 수 있다.
- (2) 탐사는 송수신 안테나를 일정한 간격으로 위치시킨 후 측선을 따라 두 안테나를 동시에 일정 간격씩 옮겨가며 측정해야 한다.

- (3) 지표레이더 탐사결과로 얻어진 자료의 컴퓨터 수치모형 계산(전산처리)을 통하여 레이다 단면을 구해야 한다.

5. 시추공 내 탐사

- (1) 지표물리탐사에 비해 조사심도가 깊고 분해능력을 높이기 위해서는 터널설계에 필요하다고 판단되는 경우 시추공 내에 송신원 또는 수신기를 삽입하여 실시하는 시추공 내 물리탐사 기법을 적용하는 것이 바람직하다.
- (2) 시추공 내 탐사법중 주로 쓰이는 것은 <표 9>과 같다.

표 9. 시추공 내 탐사법의 종류

탐사장소	분류	대표적 탐사방법	측정대상	주 사용 탐사법
시추공 탐사	단일 시추공 탐사	· 하향식 탄성파탐사(PS 검층) · 레이다 반사법탐사	탄성파 도달시간 반사 레이다파	Downhole Test
	시추공간 속도측정	· Crosshole 탐사	탄성파 도달시간	탄성파 Crosshole
	시추공간 토모그래피	· 탄성파 토모그래피 · 비저항 토모그래피 · 레이다 토모그래피	탄성파 도달시간 전기비저항 직접 레이다파	탄성파 Tomography
시추공 내 물리검층	전기검층	· 전기비저항 검층 · 자연전위 검층	전기비저항 자연전위 등	비저항검층
	방사능검층	· 자연감마 검층 · 밀도검층	감마량 측정	밀도검층
	음파검층	· Sonic Logging · Suspension PS Logging	P, S파 도달시간	Sonic Logging
	시추공 영상촬영법	· Televiewer(ABI) · BIPS(OBI) · 시추공 카메라	초음파 도달시간 혹은 진폭, 시추공벽 영상	BIPS, Televiewer

- (3) 물리검층 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 지구물리검층 시에는 지질학적, 수문지질학적, 지반공학적 특성과 연계하여 구성암석, 균열상태, 지하수유동과 물리·화학 성질 등의 지반정보를 얻을 수 있도록 해야 한다.
- ② 지구물리검층 자료는 해석을 용이하게 할 수 있도록 조밀하게 측정해야 한다.
- ③ 지구물리검층 시에는 측정 자료의 질을 유지할 수 있도록 안정적인 측정시스템을 적용해야 한다.



(4) 음파검층

- ① 검층은 케이싱의 삽입부분 및 지하수위의 관계에서 측정할 수 없는 부분을 제외하고는 전구간에 대해 실시해야 한다. 다만, 케이싱의 삽입부분에서도 뺄 수 있는 경우에는 측정을 실시해야 한다.
- ② 수진기는 공내용 수진기 및 스타트 쇼트용 수진기를 사용하며 공내용 수진기는 상하 1성분, 수평 2성분의 측정이 가능한 것을 사용해야 한다.
- ③ 측정은 주변의 차량 등의 진동에 따른 직접적 잡음(Noise)을 피해 실시해야 한다.
- ④ 시추공 지름의 변화가 큰 경우 조사자는 발·수진기의 조합을 2조 이상으로 하여 속도치에 시추공 지름의 영향을 경감하는 공벽보상형(Bore-Holes Compensated, BHC)음파검층을 시행해야 한다.

(5) 지오토모그래피 탐사

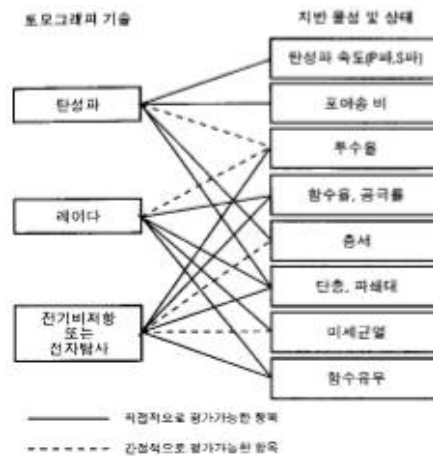


그림 7. 지오토모그래피 탐사방법별 적용대상

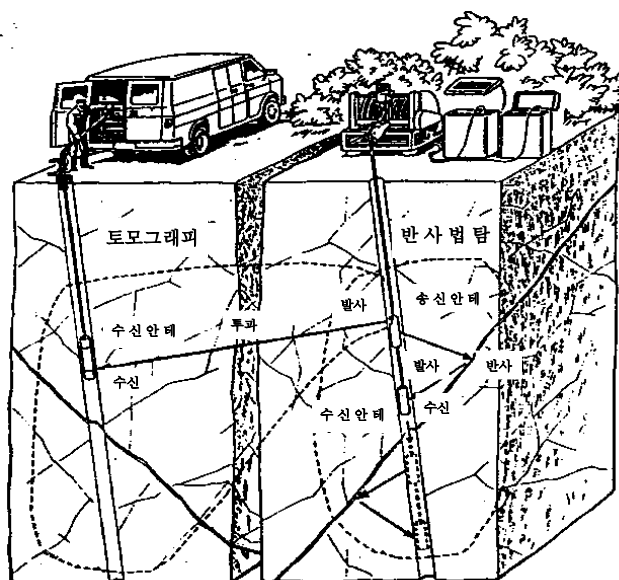


그림 8. 시추공 레이더탐사

- ① 지오토모그래피 탐사는 두 개 또는 그 이상의 시추공을 이용하여 시추공 내에 위치하는 송신원에서 발생한 탄성과 또는 전자기파(레이더파)를 매질로 방사시켜 시추공 사이의 다양한 경로를 따라 전파하는 파의 주행시간이나 진폭을 측정하고, 측정된 자료의 행렬역산 등을 통하여 2차원 또는 3차원의 지하매질의 속도, 흡수성 또는 전기비저항과 같은 물성의 분포를 영상화해야 한다<그림 7, 8>.
 - ② 전기비저항 토모그래피의 경우에는 탐사목적에 맞는 전극배열을 선정하고 2차원 수치역산을 통하여 대상단면의 전기비저항 영상을 작성해야 한다.
 - ③ 전자탐사 토모그래피의 경우에는 사용주파수 및 측정간격을 탐사대상 해상도에 맞게 결정하고, 회절토모그래피나 역산법에 의한 결과인 대상단면의 비저항 영상을 작성해야 한다.
 - ④ 지오토모그래피는 파선토모그래피 또는 회절토모그래피 방법을 적용할 수 있다.
- (6) 시추공간 탄성파탐사 또는 하향식 탄성파탐사

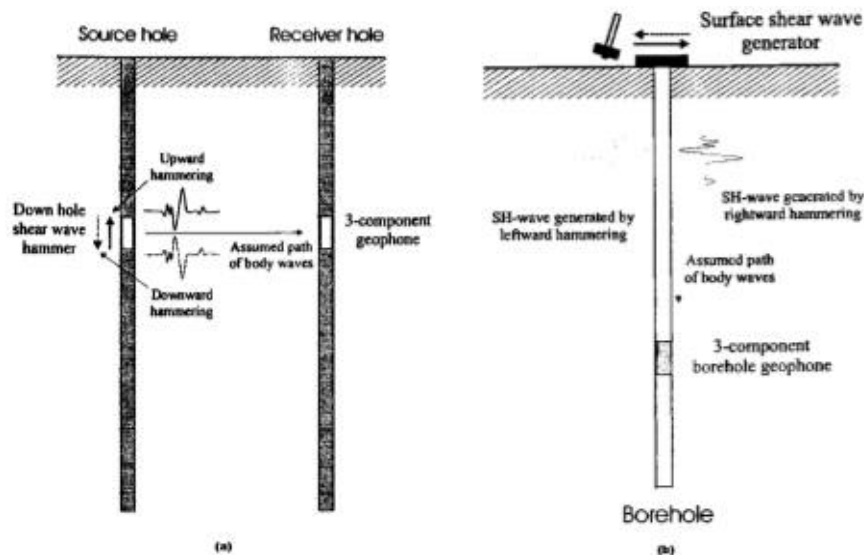


그림 9. 시추공간 탄성파탐사와 하향식 탄성파탐사방법

- ① 시추공간 탄성파탐사는 현지 암반의 심도별 탄성파속도(P파 및 S파)를 측정하고, 하향식 탄성파탐사는 심도별 구간속도를 측정하여 암질구분과 동탄성계수를 산정함을 목적으로 한다.
- ② 측정간격은 탐사목적 및 현지암반 상태 등에 따라 적절히 설정해야 한다.
- ③ 시추공간 및 하향식 탄성파탐사 수행시 서로 반대방향의 극성을 가지는 S파를 발생시키고 이들의 진폭 및 위상을 분석하여 S파 도달시간을 정확히 판독해야 한다.
- ④ 시추공간 탄성파탐사의 경우에는 공곡(孔曲)측정을 필수적으로 수행하여 송·수신기 간 거리를 정확히 산출해야 한다.



(7) 시추공 영상촬영

- ① 시추공 내의 불연속면의 위치 및 형상, 주향·경사의 판정, 공벽의 팽창 및 붕괴 상황 관찰, 파쇄대의 위치 등 물리적 변형상태를 정확히 파악하기 위하여 이용해야 한다.
- ② 지하암반의 균열상태를 직접 영상(Image)으로 확인하고 암반의 불연속면이나 균열 상태 및 암질상태를 명확하게 규명하여 현장조사자료에 대한 신뢰도를 높일 수 있도록 해야 한다.
- ③ 시추공 영상촬영법으로 현재 주로 사용되는 방법으로는 초음파빔을 이용하는 기법(Bore-Hole Tele-Viewer, BHTV)과 빛을 이용하는 기법(Bore-Hole Imaging Processing System, BIPS)이 있다. 원리상 차이점은 <표 10>에서와 같다.

표 10. 시추공 영상촬영법 비교

구분	초음파 촬영법(ABI 혹은 BHTV)	광원 촬영법(OBI 혹은 BIPS)
원리	초음파 빔을 3600 주사 후 반사되는 초음파의 도달시간 및 진폭 기록	고광도의 광원을 사용하여 반사되는 공벽 이미지를 스캔
공내수	<ul style="list-style-type: none"> · 반드시 필요 · 공내수의 탁도에 영향 적게 받음 	<ul style="list-style-type: none"> · 무관(없을 시 해상도 더 뛰어남) · 공내수가 탁할시 해상도 떨어짐
케이싱	반드시 나공 상태	함몰우려 있을 시 투명 PVC 케이싱 사용가능
주확득 정보	불연속면의 주향 및 경사	불연속면의 주향 및 경사
부가 정보	<ul style="list-style-type: none"> · 암반강도(Acoustic Rock Hardness) 추정 · 시추공경 측정 · 자료처리 자동화에 유리(수치자료) 	<ul style="list-style-type: none"> · 암층구분 · 암맥 혹은 Bedding Plane 구분, 불연속면 충전여부 판정 · 코어 이미지 재현

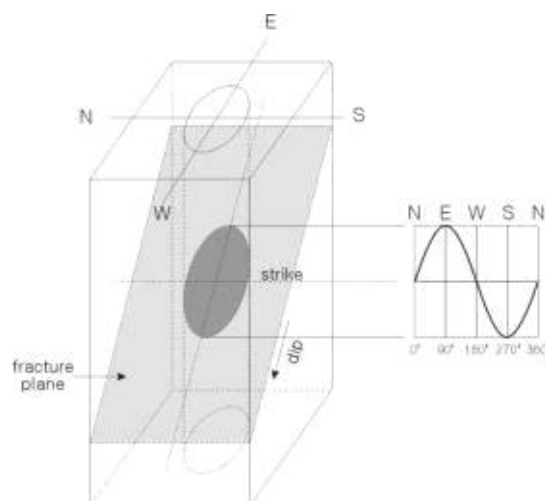


그림 10. 시추공 영상촬영법을 이용한 불연속면분석의 원리

6. 시험터널조사

- (1) 특수한 지반상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정 원위치 시험을 실시할 필요가 있을 때에는 시험터널을 굴착하여 조사할 수 있다.
- (2) 팽창성지반, 함수미고결지반 등의 특수지반에 있어서 지반조건, 단층파쇄대 등의 특수 지반조건을 상세히 조사할 필요가 있을 때 또는 지보패턴의 검토 등 설계시공에 직접 관련된 정보를 얻기 위해 필요한 경우 시험터널조사를 해야 한다. 조사 항목으로는 다음과 같은 것이 있으며 목적에 따라 필요한 항목을 선정해야 한다.
 - ① 지반상태(지질분포와 구조, 자립성, 지반의 탄성파속도, 지압, 초기응력 등)
 - ② 용출수(용출수량, 수압, 수질, 투수계수)
 - ③ 지반물성(전단강도, 지내력 등)
 - ④ 지보재 및 지표변위
 - ⑤ 기타(발파진동, 암석시료채취 등)
- (3) 시험터널 내에서 각종 원위치 시험이나 계측을 실시할 경우 및 시료를 채취할 경우에는 원지반의 교란을 최소화해야 한다.
- (4) 시험터널조사 시에는 터널의 응용지질도(Engineering Geologic Map)를 작성하여 종합분석에 참고해야 한다.

7. 하·해저터널 조사

- (1) 조수간만의 차이가 발생하는 경우 지반조사 자료의 품질향상 및 안전을 고려하여 적절한 조사장비 및 자재를 선정해야 한다.
- (2) 시추위치를 선정할 때 특별한 언급이 없을 경우는 DGPS에 따라 결정해야 한다.
- (3) 해상 지층탐사는 고정밀 분해능을 갖는 탄성과 탐사장비를 탑재한 조사선을 등심선에 직각방향으로 운항하여 실시하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있으며, 위치는 WGS-84 등 국제 공용 좌표계로 표시해야 한다.
- (4) 탐사기는 기반암과 퇴적층을 명확히 기록할 수 있도록 최대한 일정간격으로 기록하여야 하며, 암반의 심도는 기본수준면 하의 깊이(수심+퇴적층 두께)로 표기해야 한다.



해설 2. 시험

각종 시험의 종류 및 시험횟수는 <표 11>을 표준으로 해야 한다.

표 11. 시험의 종류 및 횟수

구분	시 험 종 류	시 험 회 수	비 고
터널 구간 (NX)	· 현장시험	1회/터널개소	표고차 100m 이상의 경우 -터널주변 2D 구간에서는 필히 시행 -시험단위길이 3m를 기준
	- 지표지질조사		
	- 탄성파탐사		
	- 공내재하시험		
	- 초기응력측정	필요시 실시	
	- 전기비저항탐사	필요시 실시	
	- 수압시험		
	- 표준관입시험	1회/1.0m심도	
	· 실내시험		
	- 토질시험		
	- 함수비시험		
	- 비중시험		
	- 액성한계시험		
	- 소성한계시험		
	- 입도분석		
	· 암석시험	2회(연암, 경암) /시추조사 1공	
	- 단위중량시험		
	- 일축압축시험		
	- 탄성파속도시험		
	- 포아송비		
	- 인장시험	1회/시추조사 2공	
	- 삼축압축시험	1회/시추조사 2공	
	- 절리면전단시험		

1. 현장시험

- (1) 자연상태의 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장시험은 시험항목별로 대상 지반에서의 적용성을 검토하여 수행해야 한다.
- (2) 표준관입시험은 지층이 변할 때마다 또는 동일층이라도 1.0m 깊이마다 1회씩 실시하며, 관입깊이가 300mm 미만이라도 타격횟수가 50회에 도달할 시는 타격을 중지하고 그때의 관입깊이와 타격횟수를 기록해야 한다. 가능하면 표준관입시험 장비의 에너지효율을 파악하며, 표준관입시험 결과는 가급적 에너지효율을 60%로 맞추어 설계 시 적용해야 한다.

- (3) 토사층에서의 투수계수를 파악하기 위하여 현장투수시험(시험방법을 제한할 필요가 없음)을 시행하며, 주입수는 탁한 정도가 낮은 맑은 물을 사용해야 한다.
- (4) 암반층에서 투수계수를 측정하기 위하여 팩커를 사용한 수압시험을 수행해야 한다.
- (5) 공내재하시험은 주로 연암 및 경암층의 공학적 특성을 파악하고 설계에 필요한 입력자료인 지반의 변형계수를 측정하기 위하여 시추공 내에서 실시 한다. 시험은 지반강성에 적합한 허용압력을 가지는 시험기로 수행하여야 하며 압력조건은 다단계로 하여 반복 실시해야 한다. 시추공 내 시험기를 삽입하여 유압이나 수압을 사용, 공벽에 압력을 가한 후 시험기내부에 장착된 공경측정장치를 사용하여 압력증가에 따른 공경의 변화 정도, 즉 지반변위량을 측정해야 한다.
- (6) 공사의 규모나 지역 및 지질구조 특성상 초기 지압응력을 구할 필요가 있을 경우에는 지반상태를 감안하여 적절한 방법을 선정해야 한다.
- (7) 시험 항목과 빈도는 공사의 특성, 현장여건 등 제반사항을 감안하여 선정하며 상기의 시험항목 이외에도 필요한 목적이 있을 경우 목적에 적합한 시험방법을 선정할 수 있다. 현장암반시험법 및 표준시험규정은 다음 <표 12>에서와 같다.

표 12. 현장암반시험의 구분 및 표준시험규정

시험명칭	시험결과치	시험결과치 이용	표준방법		
			KSF	ISRM	ASTM
압축강도시험 (일축, 삼축)	암반의 일축압축강도, 점착력, 내부마찰각	현지암반의 강도와 변형과괴특성	-	○	D4555-90
직접전단강도시험	점착력, 내부마찰각, 전단강도	암반자체의 전단강도 현장암반내 불연속면의 거동 및 강도특성	-	○	D4554-90
공내재하시험 (Borehole Jack)	암반의 변형계수, 탄성계수	암반의 변형특성, 터널굴착에 따른 원지반의 거동추정	-	○	D4971-89
평판재하시험 (Hydraulic Jack, Flat Jack, Cable Jack)	연직지지력, 연직지반반력계수	암반의 변형특성, 터널굴착에 따른 원지반의 거동추정	-	○	D4394-84 D4395-84 D4729-87
압력터널시험 (Hydraulic Chamber, Radial Jack)	암반의 변형계수, 탄성계수	암반의 변형특성, 터널굴착에 따른 원지반의 거동추정	-	○	D4506-90
초기지압 측정시험 (Hydrofracturing Method, Stress Relief Method, Stress Recovery Method)	암반내 초기응력	터널굴착이전의 현지암반내 존재하는 교란받지 않은 상태의 지중응력의 크기와 방향	-	○	D4645-87 D4623-86 D4729-87

주) ○ : 국제암반역학회의 제안된 시험법



2. 실내시험

- (1) 실내시험은 대상지반에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하여 시행해야 한다.
- (2) 실내시험은 지반조건, 지질구조, 굴착방법, 설계기법 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정해야 한다.
- (3) 실내시험은 원칙적으로 한국산업규격(KS) 및 국토해양부 발행 기술지도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행해야 한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.
- (4) 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 수행하며 시료의 제작 및 시험방법은 국·내외에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용해야 한다.
- (5) 내진검토를 위한 동적지반정수 산정을 위하여 설계목적에 적합한 시험방법을 선정하여 수행해야 한다.
- (6) 실내시험은 설계의 기초자료로 정확성이 요구되므로 자격을 가진 자가 시험기준에 입각하여 실시해야 한다. 실내시험중 물리시험은 시추공 1개소 마다 적어도 3개 이상의 시료를 채취하여 수행하며, 역학시험은 조사목적에 따라 시험항목을 선정하여 수행해야 한다. 특히 암석의 경우 풍화, 균열상태, 방향성, 함수상태를 고려하여 시험해야 한다.
- (7) 실내암석시험법 및 표준시험규정은 <표 13>와 같다.

표 13. 실내암석시험의 구분 및 표준시험규정

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표 준 방 법		
			KS F	ISRM	ASTM
비 중 시 험	비 중	비중, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비	2518 (석재)	○	
밀 도 시 험	건조밀도, 습윤밀도	지반내의 응력산정, 지압발생 예측지표	2518 (석재)	○	
흡수율 시험	공극율, 흡수율	암석의 투수성	-	○	
실내투수시험	투수계수	암반의 투수성평가	-	○	D4525
탄성파속도시험	탄성파전파속도 동적 탄성상수	암반의 균열도 파악, 암반분류	-	○	D2845
일축압축시험	압축강도탄성계수, 포아송비	암석의 역학적 특성, 암반분류	2519 (석재)	○	D2938, D3148
삼축압축시험	점착력(c) 내부마찰각(ϕ)	현지암반의 변형파괴특성	-	○	D2664
점하중강도시험	점하중강도	암석의 강도지수, 암반분류	-	○	

표 13. 실내암석시험의 구분 및 표준시험규정(계속)

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표 준 방 법		
			KS F	ISRM	ASTM
압열인장시험	인장강도	암석의 인장파괴특성	3032	○	D3967
절리면전단시험	절리면변형계수, 점착력, 마찰계수	절리면의 거동특성	-	○	
크리프시험	크리프계수, 변형율	구조물의 안정성	-	○	D4405, D4406, D4341
경도시험	각종 경도지수	암석의 경도, 굴착기계에 의한 암석굴착난이도	-	○	
침수붕괴도시험	침수시간-슬레이킹 구분곡선	암석의 결합 정도의 판단	-	○	
흡수팽창시험	흡수팽창율	수분흡수시 암반의 변형특성	-	○	
팽창압시험	팽창압	수분흡수시 암반의 팽창압력	-	○	

주) ○ : 국제암반역학회의 제안된 시험법



해설 3. 지반조사 성과의 정리

1. 지반의 분류

- (1) 지반의 분류는 터널의 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러성질을 등급에 따라 구분하고, 계획단계에서부터 조사, 설계, 시공에 이르는 모든 과정에서 일관성 있게 적용될 수 있는 객관적인 지표로 정해야 한다.
- (2) 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사목적에 부합하게 지반을 분류해야 한다.
- (3) 지반분류지표는 객관적인 평가가 가능하고 터널설계 및 시공과 관련된 지반특성을 포함하여 터널의 표준적인 굴착 및 지보패턴과 대비될 수 있는 요소들이어야 한다.

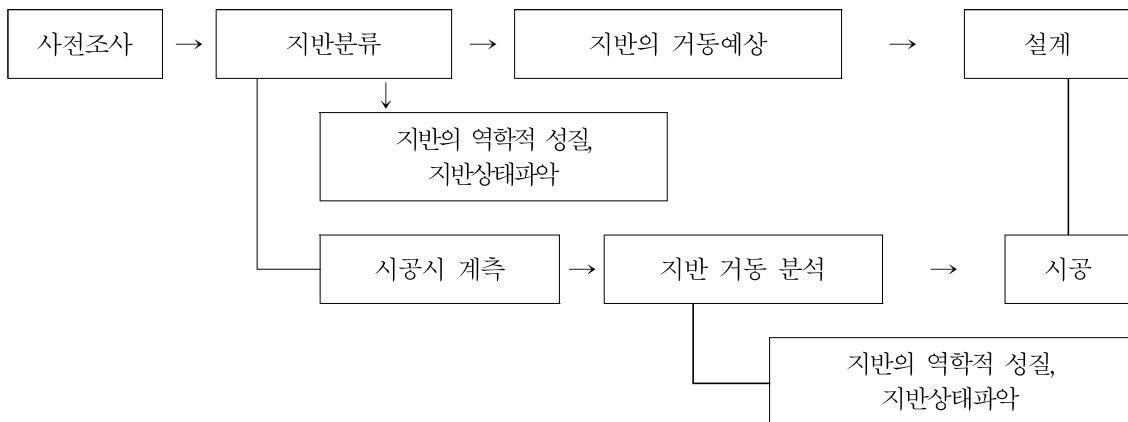


그림 11. 현장조사 및 시공의 지반분류 이용에 대한 흐름도

- (4) 암반분류 시에는 다음 사항 중 필요한 사항을 선정하여 분류해야 한다.
 - ① 압축강도
 - ② 탄성과 속도
 - ③ 변형계수
 - ④ RQD(Rock Quality Designation)
 - 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 암석종류, 풍화도, 수침시의 특성 등 암반의 거동특성에 영향을 주는 지반특성
- (5) 퇴적토층, 풍화토층 등 미고결 지층은 ‘흙의 통일분류법(Unified Soil Classification System, USCS)’에 따라 세분해야 한다.

(6) 지보재 설계를 위한 암반분류는 RMR, Q-시스템등을 적용할 수 있으며 특히 RMR의 경우 일축압축강도나 RQD등 계량화가 가능한 평가요소의 경우는 Bieniawski의 제안 그래프(1989)를 이용하여 점수를 산정할 수 있다. RMR에 의한 암반분류는 5등급으로 분류하는 것을 원칙으로 하되, 터널의 크기, 용도 및 지역특성을 고려하여 5등급 이상으로 세분화할 수 있다. 함수미고결지층 등과 같이 특수한 지반조건이 존재할 경우에는 이를 별도의 지반등급으로 분류해야 한다.

① RMR 분류법

표 14. RMR 암반분류 평가항목 및 평점

분 류 기 준			값 의 범 위						
1	신선암 강도 (MPa)	점하중 강도 지수	> 10	4~10	2~4	1~2	이 범위에서는 일축압축시험 사용		
		일축 압축 강도	> 250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	< 1
	점 수		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD(%)		90~100	75~90	50~75	25~50	< 25		
	점 수		20	17	13	8	3		
3	불연속면의 간격		> 2m	0.6~2m	200~600mm	60~200mm	< 60mm		
	점 수		20	15	10	8	5		
4	불연속면의 상태	연장길이	<1m	1~3m	3~10m	10~20m	>20m		
		점 수	6	4	2	1	0		
		간격(틈새)	없음	<0.1mm	0.1~1.0mm	1~5mm	>5mm		
		점 수	6	5	4	1	0		
		거칠기	매우거침	거 침	약간거침	매끄러움	아주 매끄러움 (Slickensided)		
		점 수	6	5	3	1	0		
		충전물 두께	없음	단단한 충전물		연약한 충전물			
				<5mm	>5mm	<5mm	>5mm		
		점 수	6	4	2	2	0		
		풍화 정도	신선함	약간풍화	풍화	심한풍화	분해		
점 수	6	5	3	1	0				
5	지하수 상태	터널길이 10m 당 유입량 (ℓ /분)	없음	< 10	10~20	25~125	> 125		
		절리수 수압/최대주응 력	0	< 0.1	0.1~0.2	0.2~0.5	> 0.5		
		일반적상태	완전건조	약간습함	젖음	물이떨어짐	물이 흐름		
	점 수		15	10	7	4	0		



표 15. 평점으로 결정된 암반의 등급

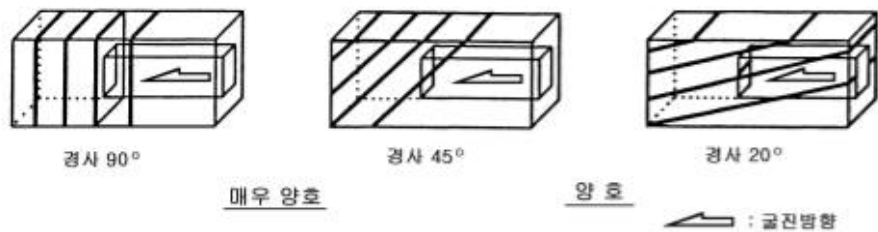
등 급	I	II	III	IV	V	VI
RMR	100~81	80~61	60~41	40~21	< 20	·
비 고	매우양호	양호	보통	불량	매우불량	함수미고결 지반

표 16. 터널굴진에 있어서 불연속면의 주향과 경사의 영향

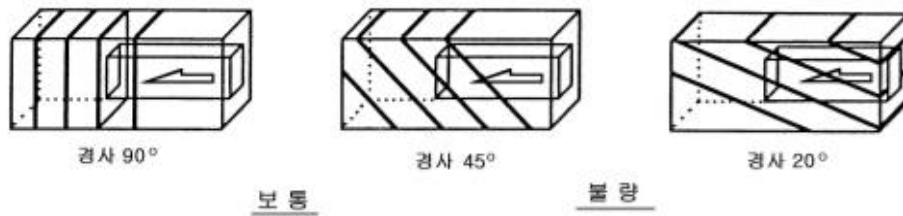
터널 굴진 방향			불연속면의 경사		상 태
주향과 직교	경사 방향	a	45~90°	A	매우 양호
		b	20~45°	B	양 호
	역경사 방향	b	45~90°	A	보 통
		a	20~45°	B	불 량
주향과 평행			20~45°	D	보 통
			45~90°	C	매우 불량
주향과 무관			0~20°		보 통

주향에 터널굴진방향과 평행

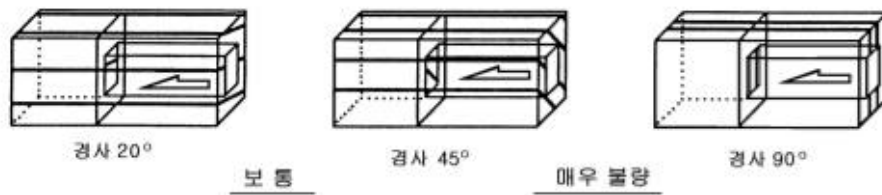
주향에 터널굴진 방향과 직교



a) 경사방향



b) 역경사



c) 굴진방향과 평행

그림 12. 터널굴진에 있어서 불연속면의 주향과 경사의 영향

표 17. 절리방향에 대한 보정

절리의 주향과 경사	매우 유리	유리	양호	불량	매우 불량
보정점수	0	-2	-5	-10	-12

② Q-시스템

가. 암질지수(RQD)

RQD가 0인 경우에 Q 값이 0이 되기 때문에 RQD가 10보다 적은 경우에 그 값을 10으로 하여 계산해야 한다<표 18>. RQD=0의 암반에서도 정도의 차이가 있지만 최악의 암반과 RQD=10%인 암반과 동일시하는 것은 문제가 있다.

표 18. RQD의 값

암질지수(RQD)	
A. 아주 불량	0~25
B. 불량	25~50
C. 양호	50~75
D. 우수	75~90
E. 아주 우수	90~100
주) i) RQD가 10 이하일 때는 10으로 계산해야 한다. ii) RQD의 간격이 5이면 충분한 정확도를 가진다.	



충분한 코어가 채워져 있지 않은 암반은 다음의 식에 의해 RQD값을 추정해야 한다.

$$RQD = 115 - 3.3J_v \quad (J_v = n_1 + n_2 + n_3 \cdot \cdot \cdot \cdot)$$

여기서, J_v 는 x,y,z 방향의 1m당의 절리 수, 즉 1m³당의 불연속면의 수의 총합.

J_v 가 4.5 이하일 때는 RQD=100이 된다.

나. 절리군의 수(J_n)

J_n 은 불연속면 군의 수를 표시하는 요소로 다음의 <표 19>과 같이 결정된다. 이 J_n 값과 다음에서 설명되는 J_a 및 J_r 의 값을 결정할 때는 Barton의 견해에 따르면 반드시 터널의 작업막장부에서 상세한 관찰을 필요로 하지만, 계획의 단계에서 시추자료 밖에 없는 경우 또한 현지에서도 적당한 노두가 없는 경우에 현장에서 암반의 상세한 관찰 없이 Q값을 결정하는 것이 무리이다.

표 19. 절리군의 수

절리군의 수(J_n)	
A. 피상, 절리가 없음	0.5~1.0
B. 하나의 절리군	2
C. 하나의 절리군과 부분적인 절리	3
D. 두 개의 절리군	4
E. 두 개의 절리군과 부분적인 절리	6
F. 세 개의 절리군	9
G. 세 개의 절리군과 부분적인 절리	12
H. 네 개 이상의 절리군과 불규칙적인 절리. 절리가 심하게 발달, 각설탕 구조	15
J. 토양과 같이 파쇄된 암석	20
주) i) 터널 교차부(3.0 x J_n) ii) 터널 입구부(2.0 x J_n)	

다. 절리의 거칠기 계수(J_r)

J_r 은 불연속면의 거칠기를 나타내는 요소로 그 값은 다음의 <표 20>과 같다. 불연속면의 거칠기나 불연속면의 풍화상태가 암반 블록간의 전단강도에 영향을 준다.

표 20. 절리의 거칠기 계수

절리의 거칠기 계수(J_r)	
a) 절리면간의 접촉과	
b) 100mm 이내의 전단으로 절리면 양쪽이 접촉	
A. 불연속적인 절리	4
B. 거칠거나, 불규칙, 파상	3
C. 부드럽고, 파상	2.0
D. 매끄럽고, 파상	1.5
E. 거칠거나 불규칙, 평면적	1.5
F. 부드럽고 평면적	1.0
G. 매끄럽고, 평면적	0.5
c) 전단시에도 절리면의 접촉이 없음	
H. 절리의 벽면이 접촉할 수 없을 정도로 점토광물이 충전	1.0
J. 절리의 벽면이 접촉할 수 없을 정도의 모래, 자갈, 파쇄대가 두껍게 존재	1.0
주) i) 관련 절리군의 평균간격이 3m 보다 큰 경우에는 1.0을 더해야 한다. ii) 방향성이 뚜렷한 평면상 Slickenside를 갖는 절리는 $J_r=0.5$ 를 사용할 수 있다.	

라. 절리의 풍화·변질 계수(J_a)

J_a 값은 불연속면의 변질도나 불연속면벽의 성질을 나타내는 요소이다<표 21>.

표 21. 절리의 풍화 및 변질 계수

절리의 풍화·변질 계수(J_a)		
a) 절리면간의 접촉 (충전물이 없고, 피복만 된 경우)	J_a	θ_r (대략치)
A. 변질이 없고 완전히 밀착, 단단한 불투수 충전물	0.75	25~35°
B. 변질되지 않은 절리벽면, 표면에 얼룩	1.0	25~35°
C. 약간 변질된 절리벽면, 연화되지 않은 광물의 피복, 사질 입자, 점토성이 없는 풍화암 등	2.0	25~30°
D. 실트질 혹은 사질 점토의 피복, 연화되지 않은 작은 점토의 파편	3.0	20~25°
E. 연화되었거나 마찰력이 적은 점토성 광물의 피복(고령토, 운모, 형석, 활석, 석고 등), 소량의 팽창성 점토(연속적인 피복, 1~2mm나 그 이하의 두께)	4.0	8~16°
b) 100mm 이내의 전단으로 절리면 양쪽이 접촉(얇은 광물 충전물)		
F. 사질 입자, 무점토성 풍화암 등	4.0	25~30°
G. 심하게 과압밀화된 불연화성 점토광물의 충전(연속적이거나 5mm 미만의 두께)	6.0	16~24°
H. 보통 또는 약간 과압밀화된 불연화성 점토광물의 충전(연속적이거나 5mm 미만의 두께)	8.0	12~16°
J. 몬모릴로나이트 같은 팽창성 점토의 충전(연속적이거나 5mm 이하의 두께), J_a 값은 팽창성 점토 입자의 크기, 수분의 혼입량의 비율에 따라 변화	8.0~12.0	6~12°



절리의 풍화·변질 계수(J_a)		
c) 전단시에도 절리면의 접촉이 없음 (두꺼운 광물 충전물)		
K. 풍화 또는 파쇄된 암석의 대상 분포 및 구역(점토조건에 대한 설명은 G.H.J. 참조)	6.0, 8.0 또는 8.0~12.0	6~24°
L. 실트나 사질점토가 대상으로 분포, 작은 점토 파편(불연성)	5.0	
M. 두껍고 연속적인 점토의 대상 분포나 구역(점토조건에 대한 설명은 G.H.J. 참조)	10.0, 13.0 또는 13.0~20.0	6~24°
주) ϕ_r 의 값이 존재한다면 변질된 물질의 광물학적 특성을 추정하는 지침으로 사용해야 한다.		

마. 응력저감계수(SRF)

응력저감계수(Stress Reduction Factor, SRF)는 불연속면의 응력감소상태를 나타내는 요소로 그 값들이 <표 22>에 표시되어 있다. 이 값이 나타내는 요소의 의미들은 암반이 압력을 받을 때 그 암반이 어떻게 변형하는 가는 그 암반의 상태와 관계된다. 즉 그 암반이 정확하게 잘 맞물려 안정되어 있는 것인지, 아니면 이미 느슨하게 이완되어 있는지 또는 파쇄대가 없는 지, 그 규모는 어떻게 되어 있는지, 굴착심도는 어느 정도인지, 팽윤하는 암반인지 등을 암반평가에 부가하여 이 값을 결정하는 것이다.

표 22. 응력저감계수(SRF)

응력저감계수(SRF)	
a) 굴착시 터널과 교차할 경우 암반을 이완시킬 수 있는 정도의 연약대	
A. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 잦은 경우, 이완이 심한 주변 암반(임의 심도)	10
B. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 한번인 경우, 이완이 심한 주변 암반(굴착 심도 50m 이하)	5
C. 점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약대의 빈도가 한 번인 경우, 이완이 심한 주변 암반(굴착 심도 50m 이상)	2.5
D. 견고한 암반에서의 전단대의 빈도가 잦은 경우(무점토), 이완된 주변암석(임의의 심도)	7.5
E. 견고한 암반에서의 전단대가 하나인 경우(무점토), (채굴심도 50m 이하)	5.0
F. 견고한 암반에서의 전단대가 하나인 경우(무점토), (채굴심도 50m 이상)	2.5
G. 느슨한 절리, 절리가 심한 경우(임의 심도)	5.0
주) i) 전단대가 공동과 교차하지 않고 영향만 준다면 SRF를 25~50% 감소시킨다.	

응력저감계수(SRF)			
b) 견고한 암석에서의 응력문제	σ_c / σ_1	σ_t / σ_1	
H. 낮은 응력, 지표부근	> 200	> 13	2.5
J. 중간 응력	$200 \sim 10$	$13 \sim 0.66$	1.0
K. 높은 응력, 매우 견고한 구조 (일반적으로 안정성에 양호, 벽면 안정성은 불량)	$10 \sim 5$	$0.66 \sim 0.33$	$0.5 \sim 2.0$
L. 완만한 암반파열(괴상 암반)	$5 \sim 2.5$	$0.33 \sim 0.16$	$5 \sim 10$
M. 심한 암반 파열(괴상 암반)	< 2.5	< 0.16	$10 \sim 20$
주) ii) 심한 이방성을 보이는 응력장의 경우(측정시) : $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ 일 때 σ_c 와 σ_t 는 $0.8\sigma_c$, $0.8\sigma_t$ 가 된다. σ_1 : 최대 주응력, σ_3 : 최소 주응력, σ_c : 단축 압축 강도, σ_t : 인장 강도 iii) 지표로부터 터널 천단 부분의 심도가 터널 폭보다 작은 경우 자료는 거의 없다. 이러한 경우는 SRF 값을 2.5에서 5로 증가시킨다.(H 참조)			
c) 압착성암반 : 높은 암반 압력의 영향으로 소성유동 발생			
N. 완만한 압착 반압			
O. 심한 압착 반압			
d) 팽창성암반 : 수압에 의한 화학적 팽창			
P. 완만한 팽창 반압			
R. 심한 팽창 반압			

바. 지하수에 의한 저감 계수(J_w)

J_w 는 불연속면에 있어서 물의 상태에 대한 요소이다. 계획되고 있는 터널내에 단층파쇄대의 존재 등이 예지되는 경우에는 상세한 용출수 등의 조사를 실시하여 이 값을 추정할 필요가 있지만, 시추보고서에 특별한 사항의 기재가 없을 경우에는 <표 23>의 B항인 보통 정도의 용출수로 추정하여 암반평가를 할 수밖에 없다.

표 23. 지하수에 의한 저감 계수

지하수에 의한 저감계수(J_w)		
용출수 상태	J_w	수압(MPa)
A. 건조 혹은 소량의 용출수(국부적 5ℓ/분 미만)	1.0	< 0.1
B. 보통 정도의 용출수와 수압, 때때로는 절리내 충전물이 유출	0.66	$0.1 \sim 0.25$
C. 충전물이 없는 절리를 갖는 견고한 암석에서의 대량의 용출수와 높은 수압	0.5	$0.25 \sim 1$
D. 대규모 용출수와 압력, 상당량의 절리내 충전물이 유출	0.33	$0.25 \sim 1$
E. 발파시 극히 많은 용출수와 높은 수압이 작용하나 시간의 경과와 함께 감소	$0.2 \sim 0.1$	> 1
F. 시간의 경과와 관계없이 계속적인 극히 많은 양과 높은 수압의 용출수	$0.1 \sim 0.05$	> 1
주) i) 요소 C-F는 대강의 추정치. 만약 배수시설이 설치된 경우는 J_w 의 값이 증가된다. ii) 결빙과 관련된 특별한 문제는 고려하지 않는다.		



- (7) 가능한 현장 시추자료를 근거로 각각의 암반 분류를 수행한 후 상관관계를 적용하는 것을 원칙으로 하되, 자료가 부족할 경우를 대비하여 Bieniawski가 1976년에 제시한 $RMR=9\ln Q + 44$ 와 Barton이 1995년에 제시한 $RMR=15\log Q+50$ 을 활용하여 상호 보완할 수 있다.

2. 조사결과의 정리

- (1) 조사성과는 터널노선 계획, 설계 및 시공, 유지관리시 충분히 활용할 수 있도록 정리하여야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03020 지반조사」를 따른다.
- (2) 터널공사는 막장부의 자립성, 막장부내 용출수, 편압의 작용, 갱구부의 비탈면붕괴 및 활동가능성, 인접 구조물에 대한 영향, 지반의 팽창성 등이 중요한 요소가 되므로 다음과 같은 취약 지반조건에 대한 평가가 수행되어야 한다.
- ① 미고결 사질지반이나 단층파쇄대에서는 돌발적인 용출수가 발생할 수 있으므로 이에 따른 지반 자립성의 저하 및 붕괴 가능성에 대한 검토가 수행되어야 한다.
 - ② 갱구부에서의 비탈면붕괴나 활동은 공사의 진척에 영향을 미칠 수 있으므로 광범위한 지형관찰, 과거의 산사태나 비탈면붕괴 기록 등을 검토해야 한다.
 - ③ 토피가 얇은 구간, 편압 발생 지형, 애추(Talus) 구간, 산사태 지역 등은 터널 굴착시 붕괴 및 지반활동을 야기할 우려가 있으므로 굴착공법, 지보공, 보조공법 등을 면밀하게 검토해야 한다.
 - ④ 지반평가는 패턴설계, 시공방법의 결정 및 시공시 예측결과의 판정 등에 중요한 기준을 제공하므로 조사 및 시험 결과와 설계·시공사례를 토대로 객관적으로 평가되어야 한다.
- (3) 지표지질조사 결과는 응용지질도로 정리하여야 하며 응용지질도는 터널구간을 포함하는 광역지질도(1/25,000)와 정밀응용지질도(1/5,000)로 구분하여 작성해야 한다.
- (4) 각 시추공으로부터 구한 상세한 정보는 일정한 양식의 시추주상도에 기록하며, 현장에서 시추공 굴착자 및 조사자는 시추주상도에 다음과 같은 정보를 추가 기록해야 한다.
- ① 시추조사명 및 시추공 번호
 - ② 위치 및 조사기간, 굴착자·조사자 이름
 - ③ 시추공 좌표 및 지반고(표고)
 - ④ 시추공의 수량(심도) 및 종류
 - ⑤ 시추장비 및 구경
 - ⑥ 지하수위 평가 및 관찰날짜
 - ⑦ 지반성층
 - ⑧ 표준관입저항치 및 표준관입시험깊이

- ⑨ 채취된 흙시료의 깊이, 형태 및 길이
 - ⑩ 시험지반 굴착부 각 단면에 대한 실태조사내용이 포함된 도면과 사진
 - ⑪ 시추조사 결과는 일정한 양식의 시추 주상도에 정리하여야 하며, 지층설명은 색조, N값, 강도, 풍화도, 균열상태, 암석명, TCR, RQD 등을 포함하여 상세하게 기록하고 시추 주상도와 지구물리탐사 등 관련자료를 참고하여 터널구간의 지질단면도를 작성해야 한다
- (5) 채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리해야 한다.
- (6) 시료상자에 정리된 시추코어는 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에서 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리하여야 하며 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록해야 한다.
- (7) 공내재하시험, 수압시험, 투수시험, 초기응력 측정시험 등 현장시험이나 지구물리탐사의 결과는 각각 그 목적에 적합한 정보가 자세히 기록될 수 있는 일정한 양식에 정리해야 한다.

3. 조사자료의 보존

조사자료는 추후 유지관리시 활용가능토록 보존해야 한다.



RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

Rev.1('14.1.10) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영

Rev.2('17.3.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(공동 또는 싱크홀 예방)을 반영

Rev.3('20.06.10) “철도 터널설계 선진화 용역” 성과를 반영하여 저토피구간 시추조사 간격 축소 등 개정