

KR C-12010

Rev.8, 13. August 2026

터널 조사 및 계획

2026. 08. 13



국가철도공단

REVIEW CHART

개정 번호	개정 일자	개정사유 및 내용(근거번호)	작성자	검토자	승인자
0	2012.12.05	설계기준 체계 전면개정 (설계기준처-3537, '12.12.5)	장을호	석종근 손병두	김영우
1	2014.1.10	“철도설계기준(‘13.12.5)” 개정내용 반영(설계기준처-77)	최용진	유승위 이용희	김영우
2	2017.03.20	“철도설계기준(국토교통부고시 제 2015-1014호, '15.12.29)” 개정내용 반영(설계기준처-3735호, '15.12.30)	최용진	이만수 백효순	김영하
3	2017.07.03	“국가경쟁력 강화를 위한 철도건 설기준 선진화 연구결과 반영요청 (기술연구처-573호, '17.2.10)	최용진	이만수 백효순	김영하
4	2020.06.10	“철도 터널설계 선진화 용역” 성과 반영(기준심사처-2334호, '20.6.10)	오주한	박창완 이상현	이계승
5	2022.12.12	“고속화철도(250km/h이하) 터널 미 기압과 저감 후드 기술개발” 연구 결과 및 철도터널 동결발생시 피 해방지 대책 반영(기준심사처 -4755호, '2022.12.12)	공병근	이창현 안기성	김종호
6	2023.12.29	터널 전도성 섬유 사용제한 반영 (기준심사처-5045, '2023.12.29)	전필재	이창현 안기성	김종호
7	2024.06.04	건설기준 고도화 용역 검토 사항 등 반영한 KR CODE 개편 및 개정 (심사기준처-715호, '24.06.04)	전필재	백효순 지연희	손병두
8	2026.08.13	“철도시설 안전성 제고를 위한 표 면배수시설 기준 개정 및 친환경 사면보호공법 개발 연구용역” 결과 반영(심사기준처-3342, '26. 8. 12.)	강홍석	송 권 지연희	송 권 (건설본부장 代)



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. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용 범위	1
1.3 참고 기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	4
2. 조사 및 계획	4
2.1 조사 및 계획 일반	4
2.2 조사	4
2.2.1 입지환경조사	4
2.2.2 지반조사	4
2.2.3 시험	5
2.2.4 지반동적특성 조사	6
2.2.5 시공 중 보완조사	6
2.2.6 지반조사 성과의 정리	6
2.2.7 공동 또는 싱크홀 조사	6
2.3 계획	7
2.3.1 계획일반	7
2.3.2 평면선형계획	7
2.3.3 종단선형계획	7
2.3.4 내공단면계획	7
2.3.5 부속설비계획	8
2.3.6 조사계획	8
2.3.7 계측계획	8
2.3.8 갱구부와 작업구의 계획	8
2.3.9 방수형식 계획	9
2.3.10 환기 계획	9
2.3.11 방재설비 계획	9
2.3.12 환경보전 계획	9
2.3.13 유지관리 계획	9
2.3.14 TBM 터널 계획	9
2.3.15 개착터널 계획	9
2.3.16 침매터널 계획	9

2.4 적용범위	9
3. 재료	10
3.1 재료 일반	10
3.2 재료 특성	10
3.3 품질 및 성능시험	10
4. 설계	10
4.1 설계의 기본방향	10
4.2 설계방법의 선정	11
4.3 설계의 기본요건	11
 해설 1. 지반조사	 13
1. 지반조사의 일반	13
2. 예비조사	13
2.1 자료조사	13
2.2 현장답사	14
3. 본조사	15
3.1 지표지질조사	15
3.2 시추조사	16
4. 지구물리탐사	18
4.1 지구물리탐사의 일반	18
4.2 굴절법 탄성파탐사	19
4.3 전기탐사	21
4.4 전자탐사	22
4.5 지표레이더(GPR) 탐사	22
5. 시추공 내 탐사	23
6. 시험터널조사	27
7. 하·해저터널 조사	27
 해설 2. 시험	 28
1. 현장시험	28
2. 실내시험	30
 해설 3. 지반조사 성과의 정리	 32
1. 지반의 분류	32
2. 조사결과의 정리	40
3. 조사자료의 보존	41
 해설 4. 계획일반	 42
 해설 5. 터널의 기본계획	 44



1. 선형계획	44
1.1 평면선형계획	44
1.2 종단선형계획	47
2. 단면계획	48
3. 방수 및 배수계획	60
3.1 방수계획	60
3.2 배수계획	60
4. 부속설비 계획	61
5. 환기계획	62
6. 계측계획	62
7. 환경측면의 계획	62
8. 방재계획	63
해설 6. 설계일반	64
1. 설계의 기본개념	64
1.1 터널굴착과 지반거동 특성	64
1.2 지반의 지보능력을 활용한 터널공법	64
2. 설계방법의 선정 및 수행방향	65
2.1 설계방법의 선정	65
2.2 터널설계의 목표	66
2.3 설계의 수행방향	66
3. 설계의 기본요건	67
RECORD HISTORY	69

1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 기준의 목적은 철도 터널설계를 위한 조사 및 계획의 기준을 제시하는 것이다.

1.2 적용 범위

- (1) KDS 27 10 00(1.2)를 따른다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

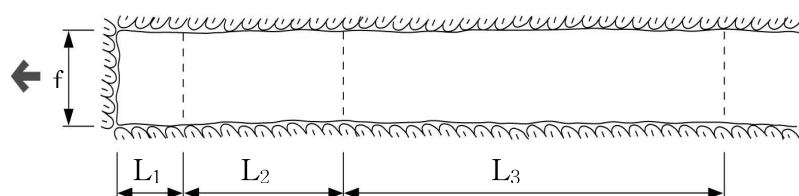
- (1) KDS 27 10 00(1.3.1)을 따른다.

1.3.2 관련 기준

- (1) KDS 27 10 00(1.3.2)를 따른다.

1.4 용어의 정의

- (1) 경사(Dip) : 주향(Strike)과 직각을 이루는 지질구조면(층리면, 단층면, 절리면 등의 불연속면)의 기울어진 방향과 수평면이 이루는 사잇각.
- (2) 계측(Monitoring) : 터널굴착에 따른 굴착면, 주변 지반, 주변 구조물 및 각 지보재의 변위 또는 응력 등의 절댓값이나 시간대별 변화를 측정하는 방법 또는 그 행위.
- (3) 굴진면(막장면, Tunnel face) : 터널 굴진방향의 굴착면을 말하며, 굴착작업이 주체적으로 실시되는 굴진면(막장면) 후방의 20~30 m 구간을 굴착부(막장부, 굴진구역과 굴착구역을 포함한 구간)라고 칭함. 여기서 굴진구역은 현재 시공의 영향을 받아 지중응력 재분배가 이루어지는 구역이며 굴착구역은 응력 재분배가 대부분 진행되었거나 완료되어 시공의 영향이 작은 구역을 말함.
- (4) 굴착공법(Excavation method) : 굴진면(막장면) 또는 터널굴착방향 굴착계획을 총칭하는 것으로서 크게 전단면굴착공법, 수평분할굴착공법, 연직분할굴착공법, 선진도갱굴착공법으로 구분.
- (5) 굴착방법(Methods of tunnel construction) : 지반을 굴착하는 수단을 말하며, 인력굴착, 기계굴착, 파쇄굴착, 발파굴착 등이 있음.



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

그림 1. 굴진면과 굴착부



- (6) 단층(Fault) : 지각의 응력에 의하여 생긴 일정 규모 이상의 전단파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분을 말하며, 정단층, 역단층, 주향이동단층 등으로 구분.

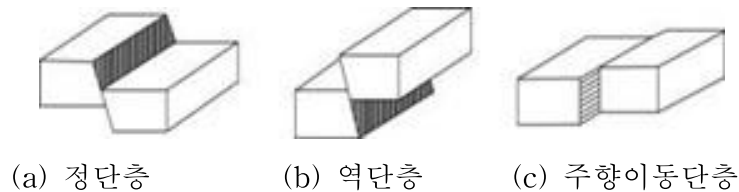


그림 2. 단층의 종류

- (7) 록볼트(Rock bolt) : 지반 중에 정착되어 지반을 보강하거나 변위를 구속하여 지반의 지내력을 증가시키는 막대기 모양의 부재.
- (8) 미기압파(Micro pressure wave) : 열차의 터널 진입으로 인하여 발생된 압축파가 터널을 따라 열차진행 방향으로 전파되어 출구에서 급격히 방출 팽창됨으로써 생성되는 큰 음압레벨의 충격파(Impulsive Wave).
- (9) 바닥부(Bottom) : 터널단면의 바닥부분.
- (10) 벤치(Bench) : 터널단면을 상·하로 분할하여 종방향(축방향)으로 굴착하는 경우의 분할면.
- (11) 불연속면(Discontinuities in rock mass) : 암반 내에 존재하는 절리, 층리, 엽리, 단층 또는 파쇄대 등과 같이 암반(Rock Mass)의 물리, 화학적 특성과 공학적 성질의 연속성을 해치는 면 또는 층.
- (12) 비정상 1차원 CFD 전산해석 : 1차원 좌표 공간에서, 유동장의 임의의 한 점에서 시간에 따라 유동 특성이 변하는 유동을 CFD(전산유체역학) 방법으로 해석
- (13) 비정상 3차원 CFD 전산해석 : 3차원 좌표 공간에서, 유동장의 임의의 한 점에서 시간에 따라 유동 특성이 변하는 유동을 CFD(전산유체역학) 방법으로 해석
- (14) 배연(Smoke exhaust) : 화재 시 발생하는 연기 및 열기류를 화재지점으로부터 외부로 배출하는 것.
- (15) 버럭(Mucks) : 터널 굴착과정에서 발생하는 암석덩어리, 암석조각, 토사 등의 총칭.
- (16) 벤치(Bench) : 터널 단면을 상·하로 분할하여 굴착하는 경우에 분할면.
- (17) 쏫크리트(Shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압하여 노즐로부터 뿜어 소정의 위치에 부착하는 콘크리트.
- (18) 습곡(Fold) : 화성암, 변성암, 퇴적암에서 변형 전 평면에 가까운 면들이 변형에 따라 물결처럼 굽어 있는 구조.
- (19) 안전영역(Safety zone) : 터널의 안전에 영향을 미치는 정도를 규정한 터널 주변의 영역으로서 각 영역별로 터널안전을 위한 대책을 강구하도록 규제하는 영역.

- (20) 애추(테일러스, Talus) : 급한 기울기의 비탈면 아래에 풍화암 부스러기가 풍화작용 및 중력작용으로 떨어져 군집이 형성된 돌무더기 퇴적물.
- (21) 여굴(Overbreak) : 터널굴착공사에서 계획한 굴착면보다 더 넓게 굴착된 부위.
- (22) 엽리(Foliation) : 변성암에 나타나는 지질구조로 암석이 재결정 작용을 받아 같은 광물이 판상 또는 일정한 띠를 이루며 형성된 지질구조.
- (23) 용출수(Sump water) : 터널의 굴착면으로부터 용출되는 지하수.
- (24) 인버트(Invert) : 터널단면의 바닥 부분을 통칭하며, 원형터널의 경우 바닥부 90°구간의 원호 부분, 마제형 및 난형 터널의 경우 터널 하반의 바닥 부분을 말함. 인버트의 형상에 따라 곡선형 인버트와 직선형 인버트로 분류하며 인버트 부분의 콘크리트 라이닝 타설 유무에 따라 폐합형 콘크리트라이닝과 비폐합형 콘크리트라이닝으로 분류함.
- (25) 입체각(Solid angle) : 터널 출구에서 방출되는 미기압과가 모아지거나 확산되는 방향성을 반영하는 무차원 수이며 단위는 sr(steradian). 터널 외부 지형환경을 묘사하는 경험상수임.
- (26) 전기탐사 : 물리탐사법의 일종으로 지반전류의 물리현상을 대상으로 하여 자연전위, 비저항을 측정하며 지반구조, 지하수 등을 조사하는 방법.
- (27) 절리(Joint) : 암반에 존재하는 비교적 일정한 방향성을 갖는 불연속면으로서 상대적 변위가 단층에 비하여 크지 않거나 거의 없는 것을 말하며, 절리의 생성 요인은 암석 자체에 의한 것과 외력에 의한 것이 있음.
- (28) 제연(Smoke control) : 화재 시 연기 및 열기류의 흐름방향을 제어하는 것을 말함.
- (29) 주지보재(Main support materials) : 굴착 후 굴착면에 붙여 지반과 일체가 되도록 시공하는 슛크리트, 강지보재 및 록볼트로 조합된 지보체계를 말하며, 콘크리트라이닝으로 이와 같은 지보체계의 역할을 대신하는 경우에는 콘크리트라이닝을 주지보재에 포함할 수 있음.
- (30) 주향(Strike): 불연속면(층리면, 단층면, 절리면 등)과 수평면의 교선방향을 진북방향 기준으로 측정한 방향과 사잇각.
- (31) 지구물리탐사(Geophysical exploration) : 지구물리학적 방법에 의해 파쇄대의 존재, 지하수의 분포상태, 지질특성 및 지질구조 등을 조사하는 방법을 말하며, 중력탐사, 자력탐사, 전기비저항탐사, 전자탐사, 탄성파탐사 및 방사능탐사 등이 있음.
- (32) 지반(Ground) : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분.
- (33) 지반조건(Ground condition) : 터널 주변 지반의 지형, 지질, 지반특성, 수리·수문조건 등을 말함.



- (34) 지보재(Support materials) : 굴착 시 또는 굴착 후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭.
- (35) 지보패턴 (Tunnel support patterns): 터널 막장면(굴진면)의 지반상태와 터널 천장부 및 그 상부의 지반상태, 시공성 등을 고려하여 터널의 안정성이 확보되도록 미리 설정해 놓은 지보 형태를 말하며, 터널굴착 후 조기에 설치하여 터널의 안정을 도모하기 위하여 설치하는 슛크리트, 록볼트 및 강지보재와 보조공법 등을 조합한 것.
- (36) 지하매설물(Underground utilities) : 지표하부에 묻혀있는 인공구조물로서 지하지장물이라고도 부름.
- (37) 초기응력(In-situ) : 굴착 전에 원지반이 가지고 있는 응력.
- (38) 추력(Thrust force) : TBM 굴진을 위하여 커터헤드에서 굴진면으로 가해지는 추진력.
- (39) 충격성 소음(폭발음, Sonic boom) : 충격파가 터널 출구에서 외부로 방사되어 발생하는 폭음.
- (40) 측벽부(Wall) : 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간.
- (41) 측선 : 계측을 위하여 설정한 측점 사이의 최단거리에 해당하는 가상의 선.
- (42) 층리(Stratification, Bedding) : 퇴적암이 생성될 때 퇴적조건의 변화로 퇴적물 속에 생기는 층상 구조.
- (43) 콘크리트라이닝(Concrete lining) : 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근보강 콘크리트의 터널부재.
- (44) 토피 : 터널 천장으로부터 지표까지의 연직두께를 말한다.
- (45) 틈새(Aperture) : 불연속면에 대하여 수직한 방향으로 벌어진 거리.
- (46) 팽창성 지반(Expansive soil): 터널시공 및 운영 시 팽창으로 인하여 문제를 일으키기 쉬운 지반으로, 제3기층의 열수변질을 받은 화산분출물, 팽창성 이암 및 온천여토 등이 있음.
- (47) 편압(Unbalanced earth pressure) : 터널의 좌우 또는 전후 방향으로 불균등하게 작용하는 지반압력.
- (48) 표준지보패턴(Standard support pattern) : 지반의 등급에 따라 미리 표준화한 지보패턴.
- (49) 함수미고결지반(Unconsolidated formation of groundwater) : 신생대 3기 말부터 제4기에 형성된 퇴적물, 암석의 풍화대, 파쇄대 등의 미고결 또는 물을 포함하고 있어 고결도가 낮은 지반.
- (50) 허용편차(Permissible deviation) : 변형 여유량에 시공상 피할 수 없는 오차를 합한 값.

- (51) 환기설비(Tunnel ventilation system) : 터널 내 공기질을 유지하기 위하여 신선공기를 유입 또는 급기하거나 오염공기를 배출하기 위한 설비.
- (52) CFD : 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)은 컴퓨터를 통해서 유체역학 이론을 바탕으로 유체 거동을 예측
- (53) DGPS(Differential Global Positioning System): 상대측위방식(GNSS, Global Navigation Satellite System) 측량을 말하며, 기지국이 필요 없는 정밀 위성위치확인시스템으로 이미 알고 있는 기지점 좌표를 이용하여 기존 GPS의 오차를 보정한 신호를 받는 GPS.
- (54) Q-시스템(Q-system) : RQD, 절리군수, 불연속면 거칠기, 불연속면 변질 정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 암반을 분류하는 방법.
- (55) RMR(Rock Mass Rating) 분류: 무결암(intact rock) 압축강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 굴진방향과 불연속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 정량적인 암반 분류방법.
- (56) RQD(Rock Quality Designation) : 시추코아 중 10 cm 이상 되는 코아편 길이의 합을 전체 시추길이로 나누어 백분율로 표시한 값을 말하며, 암질의 상태를 나타내는데 사용함. 이때 코아의 직경은 NX 또는 NQ 규격을 원칙으로 함.
- (57) TBM(Tunnel Boring Machine) : 소규모 굴착장비나 발파방법에 의하지 않고 굴착에서 버력처리까지 기계화·시스템화되어 있는 굴착기계를 말하며, 일반적으로 개방형TBM(Open TBM)과 쉴드TBM(Shield TBM)으로 구분.
- (58) TCR(Total Core Recovery) : 전체 시추길이에 대하여 회수된 코아의 길이 비를 백분율로 표시한 값.
- (59) WGS-84(World Geodetic System, 1984) : GPS의 기준좌표계인 지구 고정 지구중심 3차원 직각좌표계를 말하며, 지구중심기준의 지심좌표계(Geocentric coordinate system)로 표현함. 각 국가 간의 좌표에 관한 정보일치성을 고려하여 현재 범세계적으로 통용되고 있으며, 우리나라에서도 현재 군사용 표준으로 채택하여 1996년 7월 1일 이후부터 사용하고 있음.
- (60) 20Pa(Z-보정 음압레벨 환산 120dB) : 음압강도값이 20Pa로써 Z-보정(Z-Weighting, Non-Weighting)을 통한 음압레벨(dB)로 변환한 계산 값은 120dB임.

1.5 기호의 정의

- (1) KDS 27 10 00(1.5)를 따른다.



2. 조사 및 계획

2.1 조사 및 계획 일반

- (1) KDS 27 10 00(2.1)을 따른다.

2.2 조사

2.2.1 입지환경조사

- (1) KDS 27 10 10(2.2.1)을 따른다.
- (2) 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 계획하여야 한다.
- (3) 수리·수문조사는 시공 중 발생하는 용출수나 터널공사가 주변의 지표수 및 지하수에 미치는 영향을 예측시 필요한 정보가 제공되도록 실시하여야 한다.

2.2.2 지반조사

- (1) KDS 27 10 10(2.2.2)를 따른다.
- (2) 지반조사는 예비조사, 본조사, 추가조사 및 시공 중 조사로 구분하며 상세내용은 KR C-03010 측량 및 지반조사를 따른다.
- (3) 설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사자체에는 한계성이 있으므로 시공 시 노출되는 실제지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 하여야 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) 지반조사항목 및 기준은 기본설계 등에 관한 세부시행기준(국토교통부), 터널설계기준(국토교통부), 건설공사 비탈면 설계기준(국토교통부)을 따르며 필요할 경우 별도로 정하여 실시한다.
- (6) 터널 시추조사에서 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) 시험터널 조사는 특수한 지반상태를 직접 확인할 필요가 있거나 특정 원위치 시험을 실시할 필요가 있을 때 시험터널을 굴착하여 조사할 수 있다.

- (8) 시험터널 조사에서 터널 내의 각종 원위치 시험이나 계측을 실시할 경우 및 시료를 채취할 경우에는 원지반의 교란을 최소화하여야 한다.
- (9) 시험터널 조사 시에는 터널의 지질도를 작성하여 종합분석에 참고하여야 한다.

2.2.3 시험

- (1) KDS 27 10 10(2.2.3)을 따른다.
- (2) 현장시험 시에는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03010 측량 및 지반조사」를 따른다.
 - ① 자연상태의 현장 지반특성을 파악하기 위한 현장시험은 시험항목별로 대상 지반에서의 적용성을 검토하여 수행하여야 한다.
- (3) 실내시험 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
 - ① 실내시험은 대상지반에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하여 시행하여야 한다.
 - ② 실내시험은 지반조건, 지질구조, 굴착방법, 설계기법 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정하여야 한다.
 - ③ 실내시험은 한국산업규격(KS) 및 국토교통부 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 수행하며 시료의 제작 및 시험방법은 국내·외에서 권장하는 시험방법 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 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 수행하여야 한다.

2.2.4 지반동적특성 조사

- (1) KDS 27 10 10(2.2.4)를 따른다.

2.2.5 시공 중 보완조사

- (1) KDS 27 10 10(2.2.5)를 따른다.
- (2) 시공 중 보완조사 시는 다음 사항을 고려해야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03010 측량 및 지반조사」를 따른다.



2.2.6 지반조사 성과의 정리

- (1) KDS 27 10 10(2.2.6)를 따른다.
- (2) 조사 성과는 터널노선 계획, 설계 및 시공, 유지관리 시 활용할 수 있도록 정리하여야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03010 측량 및 지반조사」를 따른다.

2.2.7 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 근접구조물 및 매설물(상하수도관, 송유관, 통신 및 전력 케이블, 도시가스관, 기타 지중구조물 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.

2.3 계획

2.3.1 계획 일반

- (1) KDS 27 10 10(2.3.1)을 따른다.
- (2) 터널계획은 지역여건, 지형상태, 토지이용 현황 및 장래전망, 지반조건 등 사전조사 성과를 기초로 하여 계획하여야 한다.
- (3) 터널계획은 공사 중은 물론 유지관리 시에도 주변환경에 유해한 영향을 미치지 않도록 하고 환경보전에 대해서도 배려해야 하며 건설 폐기물의 저감, 재활용, 적정한 처리 및 처분에 대한 계획을 수립하여야 한다.

2.3.2 평면선형계획

- (1) KDS 27 10 10(2.3.2)를 따른다.

2.3.3 종단선형계획

- (1) KDS 27 10 10(2.3.3)을 따른다.
- (2) 종단선형 계획 시에는 터널의 기울기는 자연배수가 가능하도록 3‰이상으로 계획하고, 설계속도에 따라 철도건설규칙에 규정된 설계속도에서 정하는 기울기 이하가 되도록 계획하여야 한다.

2.3.4 내공단면계획

- (1) KDS 27 10 10(2.3.4)를 따른다.
- (2) 고속열차(최소 200km/h 이상)가 운행할 경우, 열차 내 승객의 공기압 변화노출값을 예측하여 쾌적성이 확보되도록 결정하며, 열차내 공기압 변동값은 “철도차량기술기준 [별표 9] 고속철도 차량의 기압변화 세부기준”을 만족하도록 계획한다.
- (3) 미기압과의 영향은 터널 계획, 설계 단계에서 터널출구 외부 기준위치에서 방사 입체각(solid angle) Ω 를 반영한 미기압과의 음압강도(Pa)의 전산해석(시뮬레이션) 등을 통해 예측되어야 하며, 아래의 관리 기준을 만족하여야 한다.

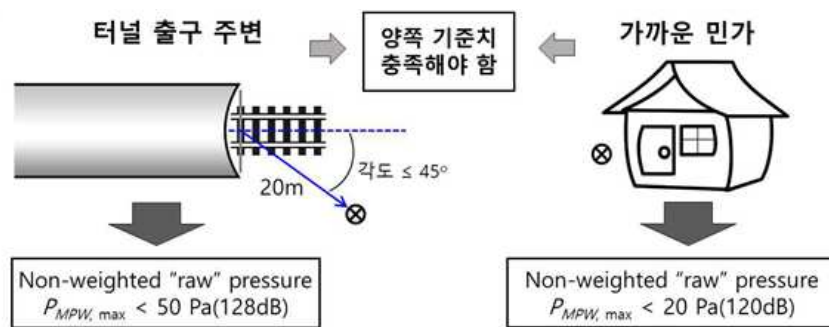


그림 3. 터널 미기압과 관리기준치

- 가. 터널 출구에서 20m 지점 및 선로상부 1.5m에서 미기압과 최대 압력은 50Pa(Z-보정 음압레벨 환산 128dB)을 초과해서는 안된다.
 - 나. 터널 출구로부터 가장 가까운 주거지 또는 학교나 병원, 축사 등 기타 민감한 건물에서의 미기압과 최대 압력은 20Pa(Z-보정 음압레벨 환산 120dB)을 초과해서는 안된다.
- (4) 미기압과가 상기의 관리 기준을 초과하는 것으로 예측될 경우에는 다음의 방안 등을 적용하여 관리 기준을 만족하도록 하되, 저감효과에 대하여 검증이 완료된 방안이 적용되어야 하며, 운영 시 기타 시설물 유지보수와 방재계획에 간섭이 발생되지 않도록계획하여야 한다.
- 가. 터널 입구 경사갱문 또는 터널 입구 단면 부분 확폭
 - 나. 터널 입구 미기압과 저감 후드 적용
 - 다. 터널 내 궤도구조 변경 또는 저주파 흡음재 적용
 - 라. 터널 단면적 확대
 - 마. 터널 내 연직갱 또는 경사갱에 풍도 적용
 - 바. 이외 검증이 완료된 방안
- (5) 터널 동결이 우려되는 구간에는 최저 외기온도(1월 평균기온 -4.7℃이하), 평균 유입풍속, 수정동결지수(700℃·일 이상) 등을 고려하여 동결방지대책을 반영한다.



(6) 건설장비 작업 및 이동 등을 종합적으로 고려하여 시공성, 안전성, 경제성을 확보할 수 있도록 터널단면을 결정한다.

(7) 건축한계(시설한계)는 「KR C-02010 철도계획」을 따른다.

2.3.5 부속설비계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.5)를 따른다.

2.3.6 조사계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.6)을 따른다.

2.3.7 계측계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.7)을 따른다.

2.3.8 갱구부와 작업구의 계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.8)을 따른다.

2.3.9 방수형식 계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.9)를 따른다.

2.3.10 환기 계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.10)을 따른다.

2.3.11 방재설비 계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.11)을 따른다.

(2) 방재시설은 사고 시 피해의 확산을 제어하고 인명피해를 최소화 시킬수 있도록 국토교통부 「철도시설의 기술기준」에 따라 계획하여야 한다.

2.3.12 환경보전 계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.12)를 따른다.

2.3.13 유지관리 계획

(1) KDS 27 10 10(2.3.13)를 따른다.

2.3.14 TBM 터널 계획

- (1) KDS 27 10 10(2.3.14)를 따른다.

2.3.15 개착터널 계획

- (1) KDS 27 10 10(2.3.15)를 따른다.

2.3.16 침매터널 계획

- (1) KDS 27 10 10(2.3.16)을 따른다.

2.4 적용범위

- (1) 이 코드는 지반을 개착하지 않고 굴착(Mined)하여 시공하는 철도터널공사의 계획, 설계에 대한 기준이며 KDS 27 10 10(2.3)을 따른다. 단, 개착식터널은 KR C-07010 지하구조물 설계일반의 기준을 따른다.
- (2) 설계를 위한 조사의 제한성 및 실제지반 변화의 다양성 등 터널설계의 특성으로 인하여 설계내용을 현장여건에 적합하도록 변경하는 경우에도 이 기준을 적용한다.
- (3) 이 기준에서 규정하지 않은 사항은 다른 관련 설계기준에서 정하는 바에 따라 설계하며 특수한 경우에는 별도로 정하여 설계할 수 있다.

3. 재료

3.1 재료 일반

- (1) KDS 27 10 10(3.1)을 따른다.

3.2 재료 특성

- (1) KDS 27 10 10(3.2)를 따른다.

3.3 품질 및 성능시험

- (1) KDS 27 10 00(3.3)을 따른다.

4. 설계

- (1) KDS 27 10 00(4.1)을 따른다.

4.1 설계의 기본방향

- (1) 터널설계는 터널단면에 따라 단선터널, 복선터널, 대단면터널 등으로 구분하여 전철화를 고려하여 설계해야 한다.



- (2) 터널설계는 터널연장에 따라 짧은터널, 장대터널, 초장대터널로 구분하여 그 기능과 목적에 적합하도록 설계해야 한다.
- (3) 장대터널과 초장대터널은 방재대책을 고려하여 설계해야 한다.
- (4) 터널설계는 조사결과를 토대로 안정성, 시공성, 경제성과 내구성이 확보되고 유지관리가 편리한 시설이 되도록 하되 실제 시공조건이 설계 당시에 예측한 조건과 상이한 경우에 대비한 변경방법 및 조치사항 등을 포함해야 한다. 이를 위하여 설계 시에 적용한 모든 적용자료와 분석 및 예측사항을 명확하게 제시해야 한다.
- (5) 터널설계는 제반조사 자료들을 근거로 지반특성을 고려하여 터널주변 원지반이 보유하고 있는 지보능력을 최대한 활용할 수 있도록 단면형상, 굴착공법과 방법, 지보재 형식, 콘크리트라이닝, 터널 입구와 출구부, 방재 및 부대시설, 시공순서 등을 선정해야 한다.
- (6) 터널설계 시 환기, 조명, 방재시설 등의 제반설비 사항도 고려하고 이들의 역할이 잘 발휘되도록 설계해야 한다.
- (7) 터널굴착 시 원지반의 손상이나 여굴발생이 최소화되도록 설계하며 원지반의 손상이나 여굴발생 시 그 처리방안을 설계해야 한다.
- (8) 터널안정성을 확보하기 위하여 터널구조물의 안전뿐만 아니라 주변 위험 영향도 최소화되도록 해야 하며, 터널 주위에 미치는 영향에 대해서는 필요 시 합리적인 대책을 강구해야 한다.
- (9) 터널설계는 지반의 불확실성, 지반조사의 기술적 한계 및 지하공간에서의 제한적 작업특성 등이 고려되어야 한다.
- (10) 도시지역을 통과하는 터널과 장래 도시계획이 수립된 지역의 터널 설계 시에는 터널주변의 다양한 응력변화와 영향요인을 고려하여 지보 및 굴착계획을 수립하여야 한다.
- (11) 콘크리트라이닝의 안정성을 확보하기 위하여 필요한 콘크리트라이닝 기초 폭을 확보하도록 터널단면을 계획하여야 한다.

4.2 설계방법의 선정

- (1) 설계방법 선정은 지반의 거동특성과 지보재의 지보력이 상호 연합하여 일체가 되게 거동하여 터널의 안정성이 유지될 수 있는 방법을 선정해야 한다. 다만, 지반의 거동특성상 지반의 지보능력 활용이 불가능할 경우에는 지반보강을 시행하거나 지보재가 지반하중을 모두 지지하도록 하는 설계방법을 채택한다.
- (2) 암반분류 후 해당 등급에 적용할 표준지보패턴과 굴착방법을 정하여 설계할 수 있다.

이 경우 유사암반조건에서의 시공실적 또는 RMR 방법 및 Q-system 등에서 제안한 지보패턴을 참조하여 지보패턴을 정하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있다. 암분류는 「터널설계기준(국토해양부)」, 「건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부)」을 기본으로 하며 필요할 경우 별도로 정하여 실시한다.

- (3) 굴착공법과 지보패턴은 선정조건에 따라 각 조건별 해석적인 방법을 통하여 그 안정성을 검증하며 작용하중, 공학적 특성치, 해석기법 및 경계조건 등을 종합적으로 검토해야 한다.
- (4) 설계조건이 특수하거나 유사조건에서의 시공사례도 없는 경우에는 예상되는 문제들을 면밀히 검토한 후 굴착방법, 지보패턴 및 보조공법 등을 선정하고 정밀한 해석적인 검증을 통하여 설계를 확정해야 한다.

4.3 설계의 기본요건

(1) 터널설계에는 다음 사항을 포함해야 한다.

- ① 평면 및 종단선형
- ② 굴착 대상지반의 분석 및 분류
- ③ 터널단면의 형상
- ④ 지보패턴 및 지보패턴 적용구간 선정
- ⑤ 굴착공법 및 굴착방법
- ⑥ 각종 지보재의 규격 및 시공순서
- ⑦ 필요한 보조공법 및 보강공법
- ⑧ 방수 및 배수방법
- ⑨ 동결방지대책
- ⑩ 콘크리트라이닝의 시공
- ⑪ 계측계획 및 수행방법
- ⑫ 환기, 방재 등을 비롯한 각종 부대시설
- ⑬ 유지관리계획
- ⑭ 터널시공에 따른 환경영향분석
- ⑮ 공사시방서

(2) 터널 설계는 안정성 확보를 우선으로 하고 지보재가 최적화 되도록 설계한다. 이 경우 해석적인 방법 외에 설계·시공사례 등의 경험적인 방법도 고려해야 한다.

(3) 신선한 암반을 통과하는 터널은 지보재의 내구성이 확보될 경우 콘크리트라이닝의 역할을 분석하여 이의 미설치 여부를 검토할 수 있다.

(4) 터널 부대시설에 사용하는 재료는 화재에 대한 내화성을 가진 재료를 사용해야 한다.



- (5) 터널 공사용 자재는 산업표준화법 에 의한 한국산업규격 표시품(이하 KS 표시품이라 한다) 또는 이와 동등 이상의 성능을 지닌 자재이어야 하며, 친환경상품 구매촉진에 관한 법률 에 의한 친환경상품 또는 중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률 에 따른 우선구매대상 기술개발제품이 설계에 반영될 수 있는지 검토해야 한다.
- (6) 향후 운영 시의 유지관리에 필요한 사항을 고려해야 한다.
- (7) 터널 전 단면에 사용하는 재료 중 열차운행시 탈락되어 전차선로와 접촉 시 화재 발생이 우려되는 전도성 섬유는 설계 및 시공에 사용을 금지한다.

해설 1. 지반조사

1. 지반조사의 일반

- (1) 지반조사는 예비조사, 본조사, 보완조사로 구분하여 시행하여야 한다.
- (2) 예비조사는 계획 단계에서 부지나 노선 또는 구조물의 위치 선정을 위하여 넓은 범위를 대상으로 실시하는 조사로서 기존 자료조사, 인공위성사진 분석, 항공사진 판독 및 분석, 현장답사 등을 통해 개략적인 지반특성을 파악할 수 있도록 수행하며 필요 시에는 시추조사도 시행하여야 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) 추가조사는 예비 조사와 본 조사 후에도 구조물 설계를 위한 추가 자료가 필요할 경우 실시하며, 구조물이 위치하는 지역에 대한 흙과 암의 지반공학적 성질과 지하수위에 대해서 실시하여야 한다.
- (5) 설계단계에서 정밀한 조사가 수행되었다고 하더라도 조사자체에는 한계성이 있으므로 시공 시 노출되는 실제지반을 관찰하여 시공의 안전성을 확보할 수 있도록 하여야 한다.
- (6) 장대터널, 도심지터널 및 연약지반 터널 공사 등에서는 본 조사, 추가조사 또는 시공 중 조사 시에 정밀조사를 실시하여야 한다.
- (7) 유지관리 시 터널의 주변 환경변화로 구조물의 안정에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우에 대비한 지반조사를 시행하여야 한다.
- (8) 조사 및 시험은 목적에 따라 적절하게 수행하되, 조사결과가 당초 예상한 바와 상이할 경우에는 조사계획을 변경하거나 보완조사를 추가로 시행하여야 한다.
- (9) 각 지반조사 항목 및 기준은 기본설계 등에 관한 세부기준(국토교통부)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 검토하여야 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 하여야 한다.
- (3) 기존의 지반자료 조사는 예비조사에 우선하여 시행한다.



표 2. 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 시추 위치, 시추장비의 진입 가능성 및 시추용수의 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 파악하여야 한다. 또한, 향후 지반 조사 및 시험 계획 수립에 필요한 사항을 현장에서 파악하는 것으로, 지표의 지형 및 지질을 상세히 관찰 검토하여야 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 하여야 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 하여야 한다. 필요에 따라 삽 또는 핸드오거 등의 간단한 조사장비를 이용하여 지역전반에 대한 개략적인 지반조건을 조사하고 시추계획에 반영하여야 한다.
- (5) 조사구역 인근에 구조물이 있을 때에는 그 기초의 형식, 규모, 그 구조물의 침하나 경사 등의 유무와 그의 정도를 조사하여야 한다.
- (6) 현장답사시 조사하여야 할 주요 내용은 다음 <표 3>과 같다.

표 3. 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, 기초심도 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, 지하수의 분포와 상태를 파악하여 기 실시된 조사의 보완자료로 활용할 수 있도록 수행하여야 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 파쇄대와 같은 지질구조, 지표에서 관찰되는 공동, 암종 분포 등과 같은 지질특성을 파악하고 필요시 물리탐사결과와 비교분석하여 큰 축적의 지질도를 일차적으로 작성한 후 본조사의 효율적 계획수립에 반영하여야 한다.
- (5) 일차적으로 작성된 지질도는 본조사의 시추조사, 시험결과 및 물리탐사 결과와 비교 분석하여 지질구조의 조사결과를 보완하고 표층지반, 암질, 지하공동, 암종경계, 지하수의 조사내용을 표시한 지질평면도, 지질종단면도 등을 최종적으로 작성하여 터널 설계에 반영하여야 한다.
- (6) 지표지질조사시의 세부조사사항은 다음 <표 4>와 같다.



표 4. 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 지층 구성과 지하수위를 파악하고 시료를 채취하며 현장시험을 수행하기 위하여 시추조사를 실시하여야 한다.
- (2) 시추조사 위치는 지장물 매설도를 확인하고 유관기관과 협의 후 인력터파기나 지중 매설물 탐사방법을 이용하여 지하매설물의 유무를 확인하여 선정하여야 하며, 특히 시추공이 터널을 직접 관통하지 않도록 위치를 계획하여야 한다.
- (3) 시추조사는 NX 규격 이중 코어배럴(Core barrel) 사용을 원칙으로 하며, 대심도시추 시에는 NQ규격도 사용할 수 있다. 또한, 풍화대, 파쇄대, 자갈 및 전석층에서는 코어의 회수율을 높이고 원상태의 시료를 채취하기 위하여 삼중 코어배럴이나 D-3 샘플러 등을 사용할 수 있다.
- (4) 시추공 내 횡방향 재하시험, 현장투수시험, 간극수압 측정 등을 수행할 경우 시추공의 크기는 NX 이상이어야 한다.
- (5) 시추는 원칙적으로 연직으로 실시하는 것을 원칙으로 하되 조사목적과 현장조건을 고려하여 최대한의 지반정보를 얻기 위하여 경사시추 또는 수평시추를 실시할 수 있다. 경사시추는 기반암에 발달한 절리, 단층, 공동 분포상태를 확인하기 위하여 실시하거나 토층이나 기반암층에 앵커를 설치할 경우에 실시할 수 있다.
- (6) 터널갱구부 및 저토피구간에서는 충분한 시추조사 및 물리탐사 등을 시행하여 지층 변화를 상세히 파악하여야 한다.

- (7) 시추조사 위치는 관련 기관으로부터 지장물 매설도를 구하여 참조하고 유관기관과 협의 후 반드시 인력터파기나 탐사방법 등을 이용하여 지하매설물의 유무를 확인한 후에 선정하여야 한다. 또한 시추공이 터널을 직접 관통하지 않도록 위치를 계획하여야 한다.
- (8) 시추공의 간격 및 심도는 「KDS 11 10 10(2.2.2)」를 따르며 도심지와 산악으로 구분하여 수행한다. 공동 확인과 같은 특정한 목적이 있는 경우, 물리탐사 기법으로 파쇄대와 연약대의 존재를 확인한 경우 또는 보다 깊은 심도의 지층상태 확인이 필요한 경우에는 시추심도를 필요한 깊이까지 증가시킬 수 있다.
- (9) 시추공의 위치는 「KDS 11 10 10 (2.2.2)」를 따르며, 터널 노선에 대하여 지반조건 파악이 가능하도록 취약구간을 포함한 시추조사 계획을 수립하여야 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 계획하여야 한다. 접근 가능한 갱구부에서는 「KDS 11 10 10 (2.2.2)」에서 제시한 개소만큼의 시추조사를 실시하여야 한다.
- (11) 토피고가 200m이상 깊어 전기비저항 탐사의 정밀도가 떨어질 것으로 예상되는 구간은 전자탐사를 수행 할 수 있다.
- (12) 시추공의 지하수위 측정은 시추종료 후 24시간 후에 실시하여야 하며, 필요시 72시간 경과 후에 측정하여 안정된 수위를 산정하여야 한다.
- (13) 시추공은 결합재 풀이나 모르타르로 폐쇄하여야 한다. 시추공 폐쇄작업은 시추공에 의한 지하수 오염을 방지하고, 하나 이상의 대수층이 있는 경우 지하수의 상하이동이나, 지하수가 섞이지 않도록 하여 지하수 유동으로 인한 오염의 확산을 방지하여야 한다.
- (14) 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 하여야 한다.
- (15) 지하수조사는 지하수 자체의 조사와 대수층의 분석 및 성질 등의 조사로 분류하여야 한다. 지하수조사의 중요한 항목은 <표 5>와 같다.



표 5. 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 검토하여야 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 하여야 한다. 또한 음파검층은 P파와 S파의 전파속도와 각 지층의 동탄성계수를 산정하는 것을 목적으로 하여야 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 하여야 한다.
- (7) 물리탐사법 중 주로 쓰이는 것은 <표 6>과 같다.

표 6. 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 고려하여야 한다.

- ① 탄성파탐사를 수행할 경우에는 전파속도로 부터 지층의 두께, 종류, 상대적인 지반 강도, 연약대 및 파쇄대 등에 관한 정보를 얻을 수 있도록 하여야 한다.
- ② 전기탐사를 수행할 경우에는 지층의 특성 및 지하수의 영향 등을 고려하여 해석하여야 한다.
- ③ 지구물리탐사의 결과는 현장측정자료, 자료의 적절한 전산처리결과 및 최종해석결과로 나타내어야 하며, 사용장비명, 측선 및 측정위치도와 현장탐사시 특기사항의 자세한 서술을 포함하여야 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 탐사하여야 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 방호하여야 한다. 또한 조사자는 기준점의 위치와 높이를 확인하여야 한다.
- (3) 조사자는 시험에 필요한 화약의 사용과 보관을 관계법령에 따라 하여야 하며 위해 및 도난을 방지하여야 한다.
- (4) 발파 시에는 사고방지를 위해 안전원을 배치하고, 사이렌, 호각 등에 따라 주의를 환기시켜야 한다.

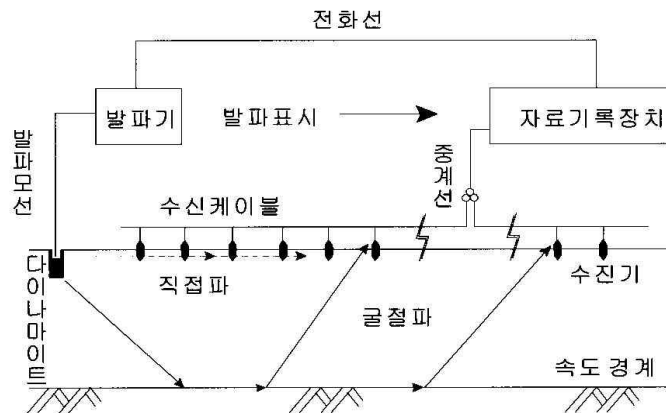


그림 4. 굴절법탄성파탐사

- (5) 발파공은 조사종료 후 다짐하여 되메워야 한다.
- (6) 2점 이상 연속한 측점에서 결측된 경우에는 재측정을 하여야 한다.
- (7) 측정결과는 측선배치도, 주시곡선도 및 단면도로 작성하여 정리하여야 한다.
- (8) 주시곡선도 또는 단면도에는 해석내용을 명시하여야 한다.
- (9) 다음과 같은 지반에서는 해석상 문제가 있기 때문에 암석자료, 지질답사, 시추조사 등의 다른 조사결과를 참조하여 해석하여야 하며 불명확한 점이 있는 경우에는 보고서에 명기하여야 한다.
 - ① 지형의 요철이 심한 지반
 - ② 미고결 모래, 자갈층 등이 혼합된 암질변화가 매우 심한 지반
 - ③ 사문암 지대와 같이 탄성과속도와 암반의 성질이 일치하지 않는 지반조건
 - ④ 탄성과속도가 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 굴절과보다 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 사용하여야 한다.

4.3 전기탐사

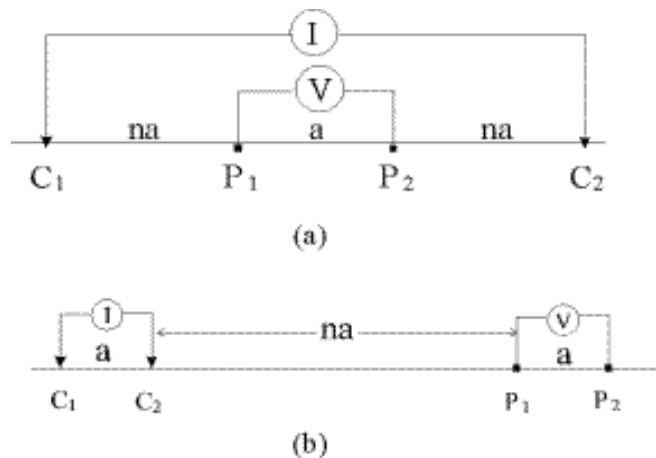


그림 5. 전기비저항탐사에 사용되는 각종 배열
(슬러머버저 배열법(a)과 쌍극자 배열법(b))

- (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 하여야 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 실시하여야 한다.



- (6) 탐사결과는 측정배치도와 수직탐사의 경우는 겹보기 전기비저항곡선, 쌍극자배열 전기비저항탐사의 경우는 겹보기 전기비저항 가단면도에 정리하며, 이외에 해석결과에 따른 비저항 등가선도 등을 작성하여야 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.

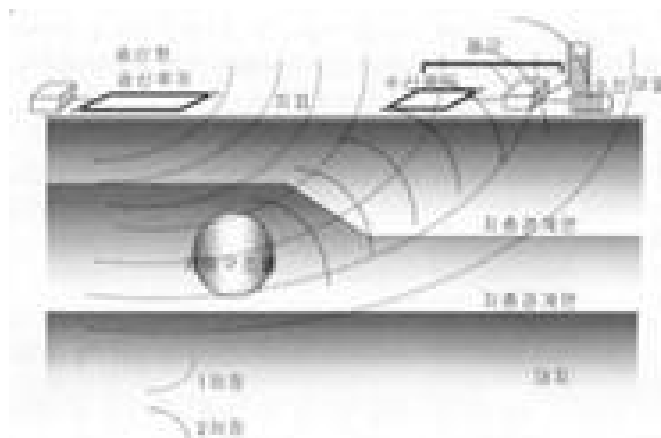


그림 6. 전자탐사의 원리

4.5 지표레이더(GPR) 탐사

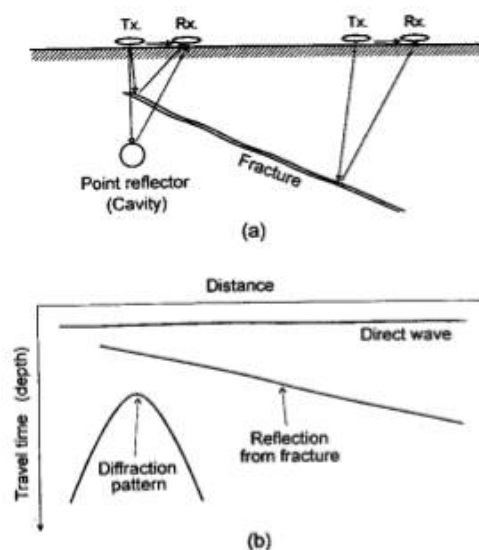


그림 7. (a) 지표레이더 탐사의 원리,
(b) 점반사원 및 반사원반사 영상모식도

- (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 측정하여야 한다.
- (3) 지표레이더 탐사결과로 얻어진 자료의 컴퓨터 수치모형 계산(전산처리)을 통하여 레이더 단면을 구하여야 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 7>과 같다.

표 7. 시추공 내 탐사법의 종류

탐사장소	분류	대표적 탐사방법	측정대상	주 사용 탐사법
시추공 탐사	단일 시추공 탐사	· 하향식 탄성파탐사(PS 검층) · 레이더 반사법탐사	탄성파 도달시간 반사 레이더파	Downhole Test
	시추공간 속도측정	· Crosshole 탐사	탄성파 도달시간	탄성파 Crosshole
	시추공간 토모그래피	· 탄성파 토모그래피 · 비저항 토모그래피 · 레이더 토모그래피	탄성파 도달시간 전기비저항 직접 레이더파	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 고려하여야 한다.

- ① 지구물리검층 시에는 지질학적, 수문지질학적, 지반공학적 특성과 연계하여 구성암석, 균열상태, 지하수유동과 물리·화학 성질 등의 지반정보를 얻을 수 있도록 하여야 한다.



- ② 지구물리검층 자료는 해석을 용이하게 할 수 있도록 조밀하게 측정하여야 한다.
 - ③ 지구물리검층 시에는 측정 자료의 질을 유지할 수 있도록 안정적인 측정시스템을 적용하여야 한다.
- (4) 음파검층
- ① 검층은 케이싱의 삽입부분 및 지하수위의 관계에서 측정할 수 없는 부분을 제외하고는 전구간에 대해 실시하여야 한다. 다만, 케이싱의 삽입부분에서도 뻗 수 있는 경우에는 측정을 실시하여야 한다.
 - ② 수진기는 공내용 수진기 및 스타트 쇼트용 수진기를 사용하며 공내용 수진기는 상하 1성분, 수평 2성분의 측정이 가능한 것을 사용하여야 한다.
 - ③ 측정은 주변의 차량 등의 진동에 따른 직접적 잡음(Noise)을 피해 실시하여야 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 시행하여야 한다.
- (5) 지오토모그래피 탐사

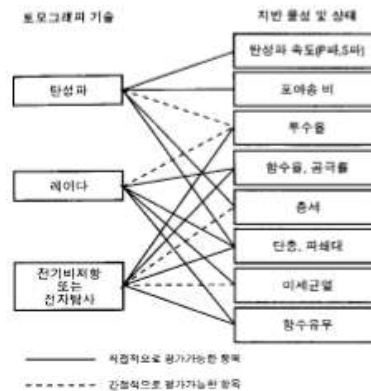


그림 8. 지오토모그래피 탐사방법별 적용대상

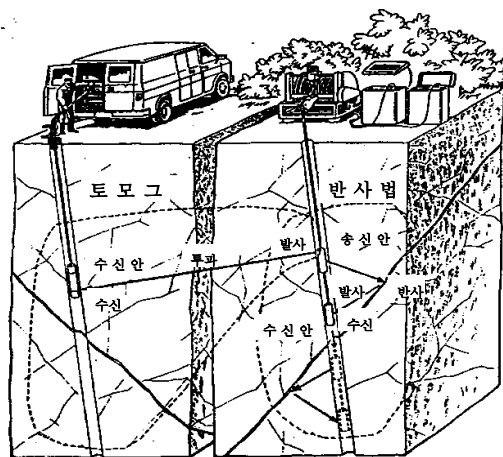


그림 9. 시추공 레이더탐사

- ① 지오토모그래피 탐사는 두 개 또는 그 이상의 시추공을 이용하여 시추공 내에 위치하는 송신원에서 발생된 탄성과 또는 전자기파(레이더파)를 매질로 방사시켜 시추공 사이의 다양한 경로를 따라 전파하는 파의 주행시간이나 진폭을 측정하고, 측정한 자료의 행렬역산 등을 통하여 2차원 또는 3차원의 지하매질의 속도, 흡수성 또는 전기비저항과 같은 물성의 분포를 영상화하여야 한다<그림 8, 9>.
 - ② 전기비저항 토모그래피의 경우에는 탐사목적에 맞는 전극배열을 선정하고 2차원 수치역산을 통하여 대상단면의 전기비저항 영상을 작성하여야 한다.
 - ③ 전자탐사 토모그래피의 경우에는 사용주파수 및 측정간격을 탐사대상 해상도에 맞게 결정하고, 회절토모그래피나 역산법에 의한 결과인 대상단면의 비저항 영상을 작성하여야 한다.
 - ④ 지오토모그래피는 파선토모그래피 또는 회절토모그래피 방법을 적용할 수 있다.
- (6) 시추공간 탄성파탐사 또는 하향식 탄성파탐사

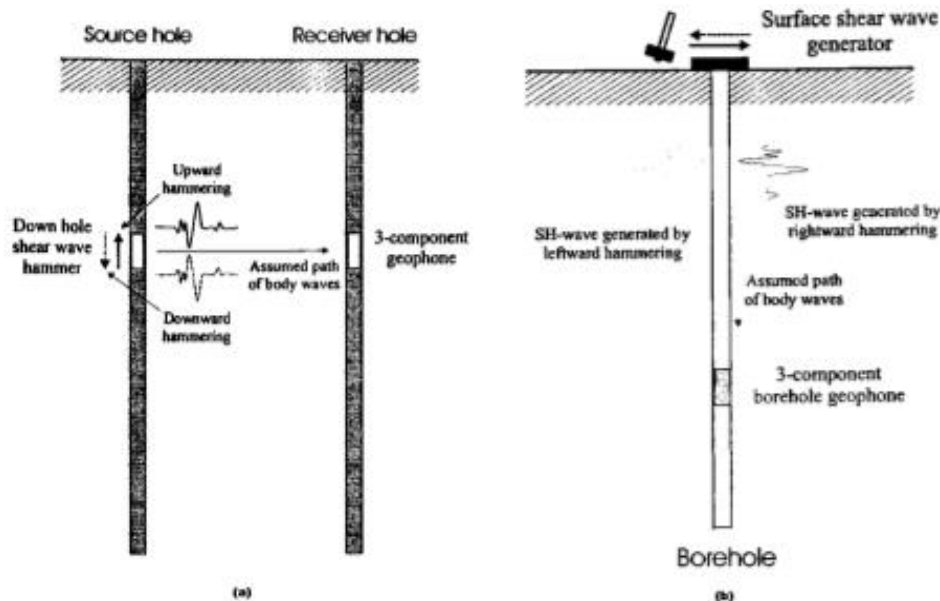


그림 10. 시추공간 탄성파탐사와 하향식 탄성파탐사방법

- 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 설정하여야 한다.
- ③ 시추공간 및 하향식 탄성파탐사 수행시 서로 반대방향의 극성을 가지는 S파를 발생시키고 이들의 진폭 및 위상을 분석하여 S파 도달시간을 정확히 판독하여야 한다.
- ④ 시추공간 탄성파탐사의 경우에는 공곡(孔曲)측정을 필수적으로 수행하여 송·수신기 간 거리를 정확히 산출하여야 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 이용하여야 한다.
- ② 지하암반의 균열상태를 직접 영상(Image)으로 확인하고 암반의 불연속면이나 균열 상태 및 암질상태를 명확하게 규명하여 현장조사자료에 대한 신뢰도를 높일 수 있도록 하여야 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 8>에서와 같다.

표 8. 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	· 반드시 필요 · 공내수의 탁도에 영향 적게 받음	· 무관(없을 시 해상도 더 뛰어남) · 공내수가 탁할시 해상도 떨어짐
케이싱	반드시 나공 상태	함몰우려 있을 시 투명 PVC 케이싱 사용가능
주 획득 정보	불연속면의 주향 및 경사	불연속면의 주향 및 경사
부가 정보	· 암반강도(Acoustic Rock Hardness) 추정 · 시추공경 측정 · 자료처리 자동화에 유리(수치자료)	· 암층구분 · 암맥 혹은 Bedding Plane 구분, 불연속면 충전여부 판정 · 코어 이미지 재현

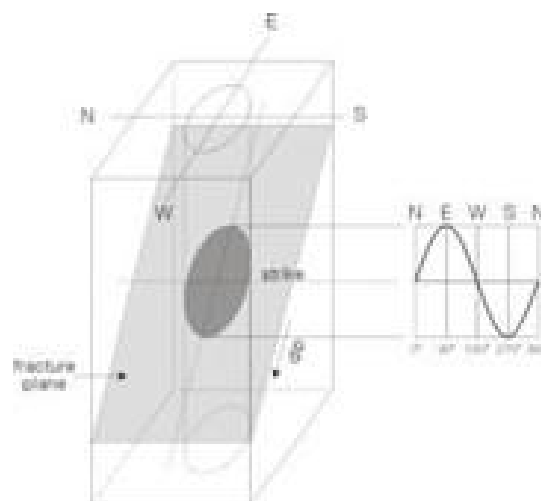


그림 11. 시추공 영상촬영법을 이용한 불연속면분석의 원리

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 하여야 한다. 조사 항목으로는 다음과 같은 것이 있으며 목적에 따라 필요한 항목을 선정하여야 한다.
 - ① 지반상태(지질분포와 구조, 자립성, 지반의 탄성과속도, 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 최소화하여야 한다.
- (4) 시험터널조사 시에는 터널의 응용지질도(Engineering Geologic Map)를 작성하여 종합 분석에 참고하여야 한다.

7. 하·해저터널 조사

- (1) 조수간만의 차이가 발생하는 경우 지반조사 자료의 품질향상 및 안전을 고려하여 적절한 조사장비 및 자재를 선정하여야 한다.
- (2) 시추위치를 선정할 때 특별한 언급이 없을 경우는 DGPS에 따라 결정하여야 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 표시하여야 한다.
- (4) 물리탐사 시 측점간격은 퇴적층과 기반암의 경계를 명확히 구분할 수 있도록 설정하여야 하며, 탐사성과 기재 시 암반의 심도는 기본수준면 하의 깊이(수심+퇴적층 두께)로 표기하여야 한다.



해설 2. 시험

각종 시험의 종류 및 시험횟수는 <표 9>를 표준으로 하여야 한다.

표 9. 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 수행하여야 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 기록하여야 한다. 가능하면 표준관입시험 장비의 에너지효율을 파악하며, 표준관입시험 결과는 가급적 에너지효율을 60%로 맞추어 설계 시 적용하여야 한다.
- (3) 토사층에서의 투수계수를 파악하기 위하여 현장투수시험(시험방법을 제한할 필요가 없음)을 시행하며, 주입수는 탁한 정도가 낮은 맑은 물을 사용하여야 한다.
- (4) 암반층에서 투수계수를 측정하기 위하여 팩커를 사용한 수압시험을 수행하여야 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 실시하여야 한다. 시추공 내 시험기를 삽입하여 유압이나 수압을 사용, 공벽에 압력을 가한 후 시험기내부에 장착된 공경측정장치를 사용하여 압력증가에 따른 공경의 변화 정도, 즉 지반변위량을 측정하여야 한다.
- (6) 공사의 규모나 지역 및 지질구조 특성상 초기 지압응력을 구할 필요가 있을 경우에는 지반상태를 감안하여 적절한 방법을 선정하여야 한다.
- (7) 초기지압 및 측압계수 측정을 위한 수압파쇄시험 등을 실시할 수 있다.
- (8) 퇴적층이나 대수층 지반의 경우 터널굴착으로 인한 지하수 거동 평가에 필요한 저류계수 등 지반의 수리상수 측정을 위한 양수시험 등을 실시할 수 있다.
- (9) 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 10>에서와 같다.



표 10. 현장암반시험의 구분 및 표준시험규정

시험명칭	시험결과치	시험결과치 이용	표준방법		
			KSF	ISRM	ASTM
압축강도시험 (일축, 삼축)	암반의 일축압축강도, 점착력, 내부마찰각	현지암반의 강도와 변형 파괴특성	-	○	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 교란반지 않은 상태의 지중응력의 크기와 방향	-	○	D4645-87 D4623-86 D4729-87

주) ○ : 국제암반역학회의 제안된 시험법

2. 실내시험

- (1) 실내시험은 대상지반에 따라 토질시험과 암석시험으로 구분하여 시행하여야 한다.
- (2) 실내시험은 지반조건, 지질구조, 굴착방법, 설계기법 등을 감안하여 적절한 시험방법을 선정하여야 한다.
- (3) 실내시험은 원칙적으로 한국산업규격(KS) 및 국토교통부 발행 기술지도서에 제시된 시험방법에 따라서 수행하여야 한다. 단, 동 규격에 명시되지 아니한 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법을 준용할 수 있다.
- (4) 실내토질시험 항목으로는 함수량, 비중, 체가름, 입도, 액·소성시험, 일축압축시험, 직접전단시험, 압밀시험, 삼축압축시험, 다짐시험, 실내CBR시험 등이 있다.
- (5) 암석시험은 채취된 암석시료의 공학적 특성과 설계정수를 결정하기 위하여 시행하며, 시료의 제작 및 시험방법은 한국산업표준(KS)을 따르며, 필요시 한국암반공학회(KSRM), 국제암반공학회(ISRM) 및 미국재료시험협회(ASTM) 등 국제적으로 공인된 방법을 적용하여야 한다.
- (6) 내진검토를 위한 동적지반정수 산정을 위하여 설계목적에 적합한 시험방법을 선정하

여 수행하여야 한다.

- (7) 터널굴착이 예상되는 단층파쇄대의 팽창성 거동 가능성을 평가하기 위해 X선 회절 분석 등의 점토광물 함량시험과 팽윤(Swelling), 비화(Slaking) 시험을 실시할 수 있다.
- (8) 실내시험은 설계의 기초자료로 정확성이 요구되므로 자격을 가진 자가 시험기준에 입각하여 실시하여야 한다. 실내시험중 물리시험은 시추공 1개소 마다 적어도 3개 이상의 시료를 채취하여 수행하며, 역학시험은 조사목적에 따라 시험항목을 선정하여 수행하여야 한다. 특히 암석의 경우 풍화, 균열상태, 방향성, 함수상태를 고려하여 시험하여야 한다.
- (9) 실내암석시험법 및 표준시험규정은 <표 11>과 같다.

표 11. 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 변형과 파괴특성	-	○	D2664
점하중강도시험	점하중강도	암석의 강도지수, 암반분류	-	○	
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 정하여야 한다.
- (2) 조사와 시험으로부터 수집된 제반정보를 종합적으로 분석하여 설계 및 공사목적에 부합하게 지반을 분류하여야 한다.
- (3) 지반분류지표는 객관적인 평가가 가능하고 터널설계 및 시공과 관련된 지반특성을 포함하여 터널의 표준적인 굴착 및 지보패턴과 대비될 수 있는 요소들이어야 한다.

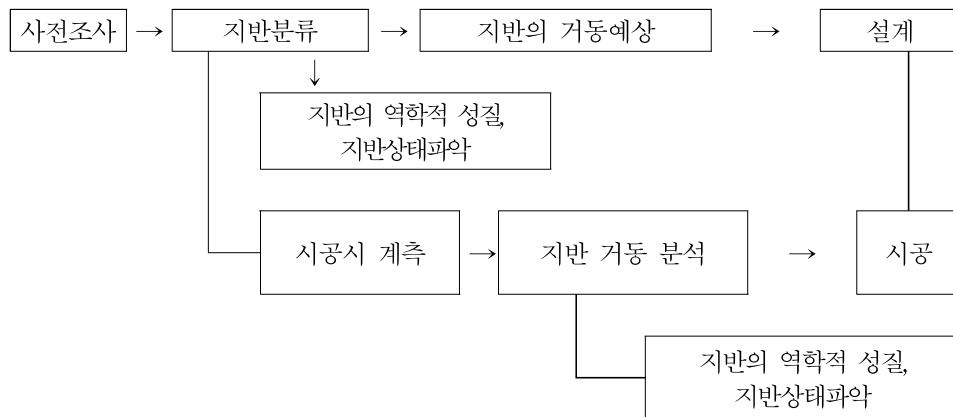


그림 12. 현장조사 및 시공의 지반분류 이용에 대한 흐름도

- (4) 암반분류 시에는 다음 사항 중 필요한 사항을 선정하여 분류하여야 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 세분하여야 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 분류하여야 한다.

① RMR 분류법

표 12. 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 13. 평점으로 결정된 암반의 등급

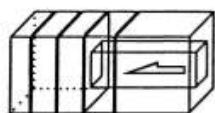
등 급	I	II	III	IV	V	VI
RMR	100~81	80~61	60~41	40~21	< 20	·
비 고	매우양호	양호	보통	불량	매우불량	함수미고결 지반

표 14. 터널굴진에 있어서 불연속면의 주향과 경사의 영향

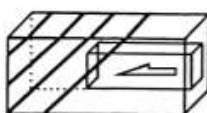
터널 굴진 방향			불연속면의 경사		상 태
주향과 직교	경사 방향	a	45~90°	A	매우 양호
		b	20~45°	B	양 호
	역경사 방향	b	45~90°	A	보 통
		a	20~45°	B	불 량
주향과 평행			20~45°	D	보 통
			45~90°	C	매우 불량
주향과 무관			0~20°		보 통

주향에 터널굴진방향과 평행

주향에 터널굴진 방향과 직교



경사 90°



경사 45°



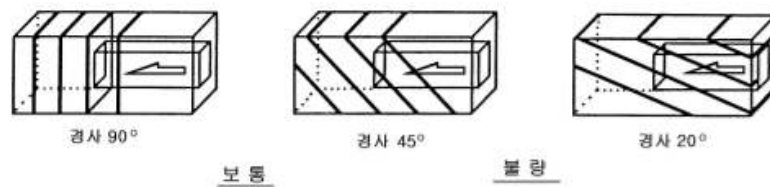
경사 20°

매우 양호

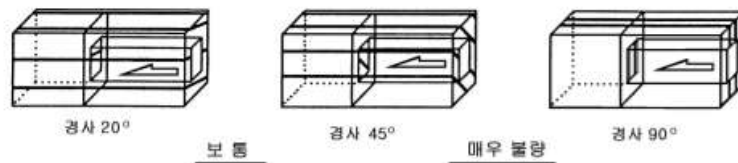
양 호

굴진방향

a) 경사방향



b) 역경사



c) 굴진방향과 평행

그림 13. 터널굴진에 있어서 불연속면의 주향과 경사의 영향

표 15. 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 계산하여야 한다<표 16>. RQD=0의 암반에서도 정도의 차이가 있지만 최악의 암반과 RQD=10%인 암반과 동일시하는 것은 문제가 있다.

표 16. 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 계산하여야 한다. ii) RQD의 간격이 5이면 충분한 정확도를 가진다.	



충분한 코어가 채워되어 있지 않은 암반은 다음의 식에 의해 RQD값을 추정하여야 한다.

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

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 17>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 17. 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 18>과 같다. 불연속면의 거칠기나 불연속면의 풍화상태가 암반 블록간의 전단강도에 영향을 준다.

표 18. 절리의 거칠기 계수

절리의 거칠기 계수(J_r)	
a) 절리면간의 접촉	
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 더하여야 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 19>.

표 19. 절리의 풍화 및 변질 계수

절리의 풍화·변질 계수(J_a)		
a) 절리면간의 접촉 (충전물이 없고, 피복만 된 경우)	J_a	ϕ_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 사용하여야 한다.		

마. 응력저감계수(SRF)

응력저감계수(Stress Reduction Factor, SRF)는 불연속면의 응력감소상태를 나타내는 요소로 그 값들이 <표 20>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 20. 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. $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ 일 때 σ_c 와 σ_t 는 $0.6\sigma_c$, $0.6\sigma_t$ 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 단층 파쇄대의 존재 등이 예지되는 경우에는 상세한 용출수 등의 조사를 실시하여 이 값을 추정할 필요가 있지만, 시추보고서에 특별한 사항의 기재가 없을 경우에는 <표 21>의 B항인 보통 정도의 용출수로 추정하여 암반평가를 할 수밖에 없다.

표 21. 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 정리 하여야 하며, 상세한 내용은 「KR C-03010 측량 및 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 검토하여야 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 검토하여야 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 작성하여야 한다.
- (4) 각 시추공으로부터 구한 상세한 정보는 일정한 양식의 시추주상도에 기록하며, 현장에서 시추공 굴착자 및 조사자는 시추주상도에 다음과 같은 정보를 추가 기록하여야 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 작성하여야 한다
- (5) 채취된 시료는 일정한 규격의 시료병이나 시료상자에 정리하여야 한다.
- (6) 시료상자에 정리된 시추코어는 암석의 색조, 상태, 절리 등의 관찰이 용이하도록 직상부에서 천연색으로 촬영하여 사진첩에 정리하여야 하며 대표적인 것은 지반조사 보고서에도 수록하여야 한다.
- (7) 공내재하시험, 수압시험, 투수시험, 초기응력 측정시험 등 현장시험이나 지구물리탐사의 결과는 각각 그 목적에 적합한 정보가 자세히 기록될 수 있는 일정한 양식에 정리하여야 한다.

3. 조사자료의 보존

조사자료는 추후 유지관리시 활용가능토록 보존하여야 한다.



해설 4. 계획일반

- (1) 터널은 독립적인 선형구조물 형식이 되지만 선형 계획 시에는 노선 전체의 관점에서 기술적, 경제적인 검토를 실시하여야 한다. 대부분 절취할 것인가, 아니면 터널로 계획할 것인가가 주된 결정 사안이 되므로 경제성과 환경보호 등을 감안하여 가능한 절취부분이 적게 발생하도록 터널로 계획하는 것이 바람직하다. 그러나 지반조건이 너무 열악하여 터널 시공이 어렵고 비경제적일 경우에는 절취하는 방법을 선택할 수 있으나 이 경우에도 깎기 비탈면의 안정성 유지에 막대한 경비가 지속적으로 발생할 수 있으므로 가능한 한 되메움 하여 원지형을 복원하도록 계획하는 것이 바람직하다.
- (2) 차량의 속도에 의해 터널의 평면 및 종단 선형을 결정하게 되는데 공사기간 동안의 안정성과 적용공법이 현장의 지반조건에 적합하도록 계획하여야 한다. 특히 보조공법 선정 시에는 터널의 굴착공법을 감안하여야 하고 경제성과 효과가 입증되는 지를 검토하여 결정하여야 한다. 전체적인 계획에 있어서는 장기적인 유지관리 상의 문제를 유발하는 요인이 발생하지 않도록 계획하여야 한다. 아울러 비상사태 발생시에 대비한 신속한 대피와 복구가 가능한 계획이 되도록 하여야 한다. 이에 대한 세부 내용은 방재관련 기술내용을 참조하기 바란다.
- (3) 터널계획 시에는 공사 중은 물론 유지관리 시 주변 환경에 유해한 영향을 미치지 않도록 하고 환경보전에 대해서도 검토하여야 한다.
최근 환경, 자연보호에 관한 의식이 높아짐과 동시에 자연보호 및 보전대책이 강하게 요구되고 있고, 또한 터널은 일반적으로 자연경관이 비교적 좋은 지역에 건설되므로 위치 선정 시부터 터널갱구 부근이나 연직갱 부근 등은 주변경관과의 조화에 대하여 충분히 배려하여야 한다.
- (4) 터널의 위치는 불안정한 지형이나 이미 재해가 발생한 곳은 가급적 피하여야 한다. 즉, 지반활동지대의 단구와 단층, 파쇄대 지형, 붕괴지, 하류의 급격한 계곡, 직선지형이 끊어지는 지역 등은 안정도가 낮다. 또한 폐광지역, 단층대 지형 등은 안정도가 낮으므로 가급적 피하여야 한다.
터널 갱구부의 지반은 암석이 풍화되어 있거나 변질되기도 하여 절리와 균열이 발달되어 있고, 표층이 미고결 퇴적물에 덮여 있는 경우가 많으며 지층이 복잡하고 표류수와 지하수에 의해 영향을 받기 쉽고, 지형적으로 토피가 작고 편압이 발생하는 경우가 많으므로 터널 갱구부의 계획시 이에 대한 충분한 검토를 실시하여야 한다.
- (5) 터널단면의 형상은 단선터널, 복선터널 및 대단면 터널로 구분하고 터널의 기능과 목적에 따라 계획하며 철도터널은 철도계획에 따라 단면형태가 결정되는 경우가 있으며 복선터널, 단선병렬터널 등으로 검토하여야 한다.

터널은 길이에 따라 방재시설 등을 달리하여야 할 필요가 있으므로 1,000m 미만은

단(短)터널, 1,000m~5,000m은 장대터널, 5,000m 이상은 초장대터널로 구분하여 계획하여야 한다. 터널의 단면은 단선터널과 복선터널을 구분하며 건설장비 작업 및 이동 등을 종합적으로 고려하여 시공성, 안전성, 경제성이 확보되도록 결정하여야 한다. 복선터널의 단면은 지형 및 지반조건, 토피 정도에 따라 단선 병렬터널이나 복선터널의 채택여부를 검토하여 안정성, 시공성 및 경제성을 고려하여 계획하여야 한다. 그러나 연장이 15km 이상의 터널은 재해대책을 고려하여 구조, 대피소 및 재난예방을 위한 구난역을 설치하도록 계획하여야 한다.

- (6) 터널 단면 영역 정의와 단면적의 계산은 다음 그림 14와 같이 공기와 맞닿는 면을 기준으로 하며, 터널 길이 방향으로 연속적으로 설치된 구조물의 면적은 제외하고 터널 단면도에 단면적을 표시해야 한다. 또한, 열차 단면적은 정면에서의 투영 단면적으로 한다.

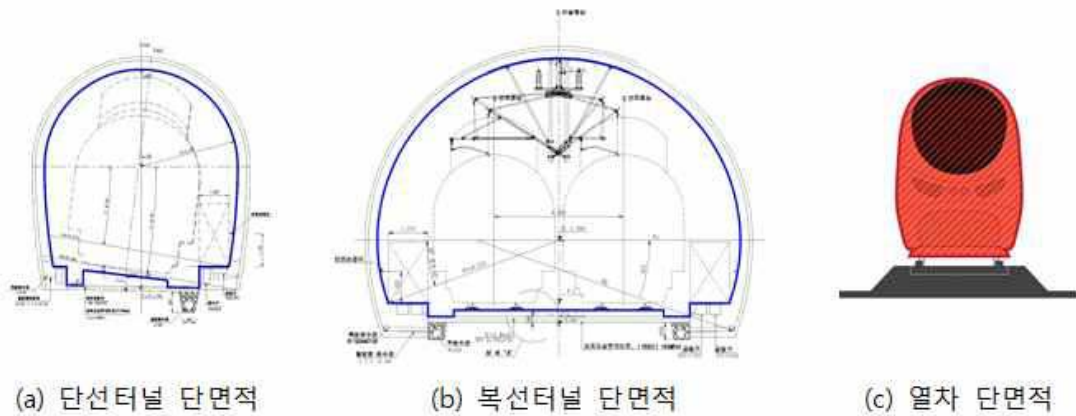


그림 14. 터널 내공단면적과 열차단면적의 계산영역 정의



해설 5. 터널의 기본계획

1. 선형계획

1.1 평면선형계획

- (1) 터널의 노선은 터널의 용도, 주변환경, 기존구조물에 대한 영향, 공사지역의 입지조건, 부속설비의 배치 등을 고려하여야 하며 공사 중과 완공후의 유지 관리에 영향을 끼치는 지반조건을 충분히 고려하여 최적노선을 결정하여야 한다. 위치 선정에 특히 주의하여야 할 점은 터널의 갱구위치에 산사태나 지반의 미끄러짐, 붕괴의 위험성, 눈사태 등이 발생하였거나 예상되는 지점을 피하여야 한다. <표 22>은 위치 선정에 특히 유의하여야 할 지반조건을 나타낸 것이다.
- (2) 터널의 위치는 지형 및 토지 이용현황, 지반조건, 토피 등을 감안, 시공성을 우선하여 결정되 편압 및 비탈면활동의 영향이 적은 지반에 가급적 자연비탈면의 경사각에 직교되도록 선정하여야 한다. 터널노선은 특히 용출수가 많을 것으로 조사된 지역이나 계곡부 또한 심한 절리가 예상되는 단층, 단애, 파쇄대, 습곡지역, 대규모 애추, 편압 지형 등을 피하는 것이 바람직하다.
- (3) 터널의 평면선형은 가능한 한 직선으로 계획하되 경제성 및 시공성을 고려하여야 하며 종단선형과 연계하여 조화되도록 계획하여야 한다. 곡선으로 계획되는 경우는 선로등급에 따른 최소 곡선반경 이상으로 계획하여야 한다.
- (4) 계획된 터널이 지상구조물, 지하구조물, 터널 등 기존 시설물에 근접하여 통과하는 경우에는 기존시설물의 중요도 및 구조적인 특성에 따라 터널굴착공사로 인한 영향을 검토하여야 하며 장래 지상 및 지하개발 계획을 감안하여 필요시 방호공 등의 사전대책을 수립하여야 한다. 터널의 부속시설인 환기구, 피난갱과 장대터널에서의 작업구 및 터널외부설비, 사토장 등의 입지조건도 선형계획 시 검토하여야 한다.

표 22. 선형계획 시 특히 주의하여야 할 지반조건

특히 주의 하여야 할 지반	주된 암반조건	문제되는 현상
팽창성 지반	- 강도가 낮은 이암 - 단층부의 점토, 파쇄대 - 원지반강도비가 작은 지반	- 예상치 않은 지반압 발생 - 장기간의 변형이나 토압증가
함수미 고결지반	- 지하수면하의 제3기말부터 제4기에 형성된 지반 - 암석 풍화대 - 파쇄대	- 용출수에 따른 지반의 유출 - 지반의 연약화에 의한 지보재의 지지력 약화 - 대량의 용출수, 수압의 작용 - 지하수위 저하로 지표·지하수원 고갈
갱구부근 에서 산사태나 붕괴가능성이 있는 지반	- 과거 산사태 발생지역이나 위험도가 높은 지역 - 붕적토나 애추 등이 두텁게 퇴적 - 심한풍화 - 파쇄대 - 편리나 틈이 발달한 이암질 편암, 셰일, 점판암 - 제3기 니암, 셰일, 점판암, 응회암	- 편암의 작용 - 지보나 라이닝의 변형 - 지보재의 침하 - 산사태, 붕괴 - 과도한 용출수
활단층	파쇄대	- 피할 수 없는 지반변위 발생 - 편암의 작용

(5) 터널의 갱구위치는 가능한 한 접근이 용이한 지역에 위치하도록 계획하되 토지이용 현황, 토피 등을 감안하여 편암 및 비탈면활동의 영향이 없는 안정된 지반의 자연비탈면에 직교되도록 선정하는 것이 바람직하다. 선형계획 시에는 갱구의 위치가 계곡부로 세굴이나 침수의 위험이 있는 지역, 결빙의 영향이 상존하는 음지, 절벽 또는 급한 비탈면과 사각을 이루며 만나게 하는 선형계획이 되지 않도록 주의하여야 한다. 특히, 붕적층이 깊게 완경사로 발달된 지역에 천층으로 터널 갱구부를 설치할 경우에는 공사비가 많이 들고 유지관리비 또한 크게 소요될 것이므로 이러한 지역은 피하는 것이 좋다.

(6) 터널을 2개 이상 병렬로 계획하는 경우에는 터널의 단면크기와 굴착대상지반의 공학적 특성을 감안하며, 터널굴착공사로 인한 주변지반 거동 및 발파진동이 인접터널에 나쁜 영향을 미치지 않도록 상호 충분히 이격시켜야 한다. 또한 병렬 혹은 교차되는 형태로 계획할 경우 선행시공과 후행시공 터널 상호간의 영향을 검토한 뒤 위치선정을 하여야 한다.

터널 상호간의 영향에 대해서는 지반조건이나 시공법에 따라 다르지만 지반이 완탄성체인 경우에는 굴착폭(D)의 2배, 연약층인 경우에는 5배로 하면 상호간에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다. 통상적인 암반지반에서는 중심간격을 3D 이상으로 하는 것이 일반적이지만, 터널의 입지조건 때문에 이보다 근접하여야 할 경우나 연약한 지반인 경우에는 상호간에 미칠 영향에 대해 충분히 조사, 검토한 뒤에 시공법이나 계측 등에 대한 계획을 세워야 한다.



그러나 일률적으로 2D~3D의 중심간격을 확보하게 되면 접속하는 토공구간에 길고 큰 비탈면이 생기는 경우와 교량이 근접하여 있을 경우에는 공사비나 유지관리비가 증가하므로 갱구부를 접근시키는 방법 등을 검토하여야 한다. 이때는 철도건설규칙에 규정된 선로중심간격을 고려하여 계획하여야 한다.

또한 원지반의 안정성이 충분할 때나 용지비가 많이 소요될 때에는 중심간격을 좁게 하는 것이 유리할 경우가 있다. 이때는 갱구 부근만 근접시키고 터널 내부를 차차 넓혀나가는 방법도 가능하다. 장대터널에서는 병렬터널 간의 연결 등 유지관리상의 문제점에 대해서도 고려하여야 한다. 병렬터널의 이격거리 결정 문제는 기술상의 문제라기보다는 보강공사비 차원의 문제가 되기 때문에 일률적으로 정하는 것 보다는 터널단면의크기와 지반조건에 따라 결정하는 것이 올바른 접근방법이다.

① 터널이 서로 병행하는 경우

철도터널에서 복선 및 2복선화, 도로의 신설 등으로 기존 철도터널과 병행하여 새로운 터널이 신설되는 경우 기존 터널에 변형이 발생하고 근접도가 높으면 지반조건에 따라 지반을 이완시켜 기존터널의 안정을 위협하는 경우도 발생한다.

기존터널에 미치는 영향을 줄이는 방법들로 다음과 같은 사항을 검토하여야 한다. <표 23>에 터널이 서로 병행하는 경우에 근접도를 나타내었다.

두 터널 간에는 지반조건과 위치에 따라 0.5D~1.0D 정도의 이격거리로의 계획이 가능하다.

가. 양 터널간의 수직 및 수평 이격거리 등의 기하학적 위치조건

나. 신설터널의 굴착면의 크기

다. 신설터널의 굴착방법(기계, 발파 등)

라. 지반조건(암질, 표토높이)

마. 기존터널의 라이닝 건전도

표 23. 병행터널의 근접도 구분

양 터널의 위치관계	터널이격거리	근접도 구분
신설터널이 기존터널 수평면보다 위에 위치할 때	1D 미만	대책시공 범위
	1~2.5D	주의시공 범위
	2.5D 이상	일반시공 범위
신설터널이 기존터널 수평면보다 아래에 위치할 때	1.5D 미만	대책시공 범위
	1.5~2.5D	주위시공 범위
	2.5D 이상	일반시공 범위

주1) D : 신설터널 외경

주2) 위 기준은 보통암 정도를 기준으로 한 것으로 암질에 따라 보정하여야 한다.

(1) 안정된 경암 또는 연암 -20%

- (2) 모래층 또는 점성토층의 토사 지반 +20%
- (3) 불안정한 지반(팽창성지반, 미고결 지층) +40%
- (4) 기존 터널라이닝 부실시 +20%

주3) 발파진동에 대하여는 별도 검토를 하여야 한다.

② 터널이 교차하는 경우

신설되는 터널이 기존 터널의 위나 아래로 교차하거나 병행하는 경우, 신설터널이 위로 통과할 때는 기존 터널은 상방향으로 변위나 변형이 발생하고 아래로 통과할 때는 기존 터널이 침하할 우려가 있다. <표 24>에 터널이 교차하는 경우의 근접도를 나타내었다,

표 24. 교차터널 근접도 구분

양 터널의 위치관계	터널이격거리	근접도 구분
신설터널이 기존터널 위에 위치할 때	1.5D 미만	대책시공 범위
	1.5~3.0D	주의시공 범위
	3.0D 이상	일반시공 범위
신설터널이 기존터널 아래에 위치할 때	2.0D 미만	대책시공 범위
	2.0~3.5D	주위시공 범위
	3.5D 이상	일반시공 범위

주1) D : 신설터널 외경

주2) 위 기준은 보통암 정도를 기준으로 한 것으로 암질에 따라 보정하여야 한다.

- (1) 안정된 경암 또는 연암 -20%
- (2) 모래층 또는 점성토층의 토사 지반 +20%
- (3) 불안정한 지반(팽창성지반, 미고결 지층) +40%
- (4) 기존 터널 라이닝 부실시 +20%

주3) 발파진동에 관한 것은 별도 검토를 하여야 한다.

(7) 터널 내에 정거장이 계획될 경우에는 철도건설규칙에 규정된 내용에 따라 설계하여야 한다.

(8) 설계도서에 궤도 중심과 구조물 중심의 관계를 명확히 표현하여 시공시 혼선이 없도록 조치하여야 한다.

1.2 종단선형 계획

(1) 터널의 기울기는 자연배수가 가능하도록, 가급적 완만하게 계획하되 철도건설규칙에 규정된 선로의 등급별로 정해진 기울기 이하가 되도록 계획하여야 한다.

터널 개통후의 터널내부 용출수를 자연유출 시키기 위하여 0.3% 이상의 기울기가



필요하다. 외부의 물이 터널내로 유입되어 결빙되면 열차운행에 지장을 초래할 수가 있으므로 터널 시,중점부의 계획에 특별히 유의하여 가급적 외부의 물이 유입되지 않도록 하여야한다.

- (2) 계획기울기는 터널입구에서 진행방향으로 가능한 한 상향기울기가 되도록 하여 시공 중 원활한 배수가 이루어지도록 하는 것이 바람직하며 환기검토가 수반되어야 한다. 그러나 현장조건과 터널의 목적에 따라 하향기울기가 불가피할 경우에는 공사 중 배수 설비를 별도로 계획하여야 한다. 장대터널에서 배수보다 환기기능을 우선적으로 고려할 필요가 있는 경우에는 반대로 하향기울기를 채택할 수 있으나 이 경우에는 공사 중 별도의 배수설비를 계획하여야 한다. 또한 선형 조건상 터널의 입구와 출구가 중앙부 보다높은 종단 선형으로 계획된 경우에는 장래 유지관리를 고려한 배수설비를 계획하여야 한다.
- (3) 종단계획에 따른 터널의 최소 토피는 터널의 구조적 안전영역의 범위가 확보되도록 결정하여야 하며, 최소 토피는 장래 예상되는 토지이용 한계심도를 고려하여야 한다.
- (4) 터널 내에 정거장이 계획될 경우에는 승객의 편의를 고려하여 역사의 깊이를 결정하여야 한다.

2. 단면계획

- (1) 내공단면은 터널의 목적 및 기능에 따라 소요 건축한계와 평면 선형이 곡선인 구간은 캔트에 의한 차량 경사량과 슬랙량을 더하여 확폭하여 설정하고 터널내의 신호, 통신 등 설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유폭, 보수요원의 보도폭 등을 고려하여 정하며 시공 중 터널변형 등 시공오차에 대한 여유를 예상하여 결정하여야 한다.

단면 결정에 필요한 건축한계 및 곡선구간의 확폭량에 대한 사항은 철도건설규칙에 정하는 바를 따르며, 이를 만족시키는 것을 전제로 열차 폭원, 보도폭 등을 고려하여 정하여야 한다. 내공단면을 결정하는 순서는 <그림 15>와 같다.

- (2) 내공단면의 크기는 단선터널과 복선터널을 구분하며 건설장비 작업 및 이동 등을 종합적으로 고려하여 시공성, 안전성, 경제성이 확보되도록 결정한다. 복선터널의 단면은 지형 및 지반조건, 터널의 길이 등에 따른 조건을 검토하여 단선병렬터널이나 복선터널로의 채택여부를 검토하여 안정성, 시공성 및 경제성을 확보하여야 한다. 정거장 전후구간 또는 터널 내에 정거장이 위치하여 터널단면이 커져야 할 경우에는 터널의 기능과 목적에 부합하도록 단면의 형태 및 크기에 대한 사항을 종합적으로 검토하여 계획하여야 한다.

- (3) 내공단면 검토 시에는 열차의 고속주행으로 인하여 터널 내에 발생하는 공기저항 및

공기압 변화와 차량밀폐도, 승차감 및 미기압과의 영향 등을 고려하여야 하며, 이에 따라 부수적으로 발생하는 압력변동과 진동, 터널 출구에서 발생하는 충격성 소음 등 이 승객과 터널 주변 민가에 미치는 영향은 허용기준 이하가 되도록 계획하여야 한다.

- (4) 고속열차 주행으로 발생하는 열차내 승객 쾌적도 저하(급격한 압력변동)를 예방하기 위하여, 전산유체해석 방법을 통해 단독 및 교차주행시 압력변동값(선두 및 후미열차 내 승객) 분석을 실시하여야 한다.

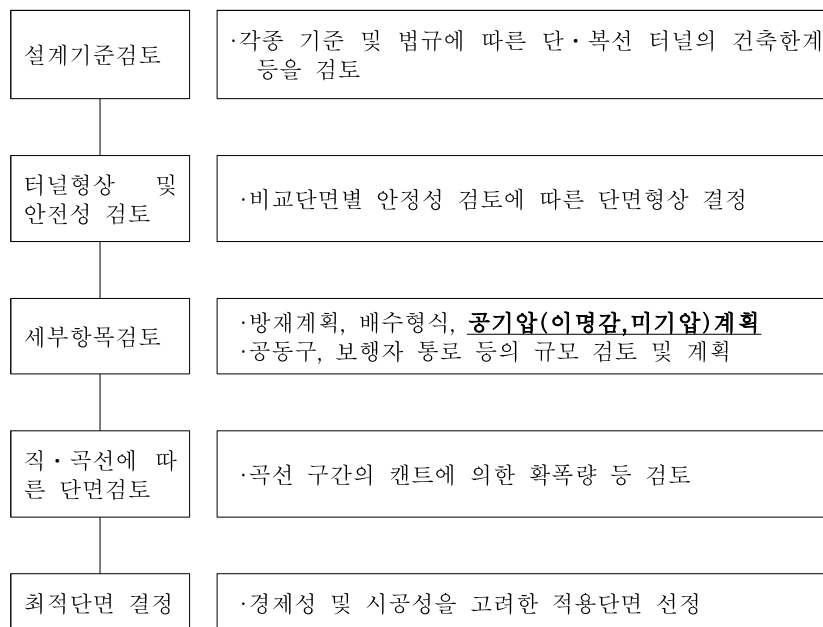


그림 15. 내공단면 결정 순서

- ① 열차가 고속으로 터널내를 주행하게 되면 소밀과의 일종인 공기압파(압력파)가 발생하게 되며 열차선두부가 터널에 진입할 때와 터널을 빠져나갈 때는 양압력파(압축파)가 발생하며 같은 경우에 열차후미부에는 부압력파(팽창파)가 발생한다. 이와 같이 열차에 의해 발생된 공기압파는 터널내의 공기를 매질로 하여 음속으로 터널을 따라 스스로 전파되며, 공기압파는 터널의 출구부에서 대기로 일부는 탈출하고 대부분은 방향과 크기가 반대인 공기압파로 되어 다시 터널 내로 반사하게 된다. 일단 발생된 공기압파는 터널벽면과의 마찰손실에 의해 에너지가 소진될 때까지 터널 내를 왕복운동하게 되며, 이와 같은 왕복운동이 계속되면서 파의 일부가 서로 중첩하게 되어 터널내에는 아주 복잡한 공기압 변화를 나타내게 된다.

- ② 열차가 고속으로 터널내에 진입하므로 발생하는 공기압파는 터널내를 왕복운동하면



서 터널내에 압력변동을 발생시킬 뿐만 아니라 터널내 풍속에도 변화를 주게 된다. 즉, 열차 전면과 후방에서는 열차주행방향으로의 공기의 흐름이 생기고 열차의 측면에서는 반대방향으로의 흐름이 생기게 된다.

- ③ 열차가 터널내를 고속으로 주행하게 되면 열차는 주행에 대한 저항을 받게 되는데 이때 열차에 작용하는 저항은 공기에 대한 공기역학적 저항과 열차 자체의 기계적 저항으로 구성된다. 공기역학적 저항은 열차의 선두부와 측면 사이의 압력차, 열차의 후미부와 측면 사이의 압력차 및 열차의 측면에서의 열차와 공기사이의 마찰 등에 따라 발생하게 되며 기계적 저항은 차륜과 레일사이의 기계적 마찰에 의해 발생하는 것으로서 열차의 중량과 길이에 비례하여 증가하는 것으로 알려져 있다.
- ④ 열차가 터널 내를 고속으로 주행하게 되면 열차진입으로 생긴 압축파가 터널내에 전파되어 반대측의 갱구에 도달할 때 갱구에서 외부로 방사되는 압력파를 터널출구 미기압파 또는 충격파(Impulsive wave)라 부르며 이 미기압파에 수반되는 직접음을 충격성 소음(폭발음, Sonic boom)이라 한다. 이러한 미기압파의 현상은 터널입구에서의 압축파의 형성, 터널내에서의 압축파의 전파 및 터널 출구에서의 미기압파의 방사 등 3단계로 구분된다. 압축파 전면의 압력경사를 줄이는 미기압파에 대한 대책은 터널입구를 변형해서 압축파의 압력경사를 작게 하는 방법(경사갱문 또는 터널 미기압파 저감 후드), 터널내 경사갱을 압축파의 통로로 이용하는 방법, 터널벽면에 흡음재를 설치하는 방법 및 토피가 작은 곳에 샤프트(Shaft)를 설치하는 방법 등이 있다. 이러한 대책을 적용할 시에는 저감효과 검증이 완료된 방안을 적용하여야 한다.
- ⑤ 터널 미기압파 영향을 예측하고 관리기준 내에 있음을 확인하는 평가(이하 미기압파 영향 평가)는 설계속도가 160km/h 이상인 모든 터널에 대하여 원칙적으로 수행해야 한다. 단, 터널 미기압파 폭발음이 발생하지 않음이 입증된 것으로 인정되는 설계사양에 대해서는 미기압파 영향 평가를 수행하지 않아도 된다.
- ⑥ 미기압파 영향 평가 시에는 터널(단선, 복선) 내에 운행 중이거나 정지한 다른 차량이 없는 조건에서 검토를 수행하여야 한다(설계속도 기준). 복선인 경우에는 상행과 하행 운행선로에서 각각 평가를 수행하여야 하며, 단선터널이라도 상행과 하행 운행이 계획된 터널은 상행과 하행에 대하여 각각 영향평가를 수행하여야 한다.
- ⑦ 미기압파 영향 평가 시에는 다음의 기상조건을 고려해야 한다(한국의 연중 평균기압, 평균 온도, 평균 습도).

표 25. 한국의 연중 평균 기상조건(기상청 1991-2020 통계자료)

구분	연중 평균값
대기압	101.640Pa
주변 상대습도	68.4%
주변 온도	12.8℃
터널 온도	14.8℃

⑧ 미기압과 영향 평가는 다음과 같은 3단계의 평가절차에 따라 수행되어야 한다.

표 26. 터널 미기압과 영향평가를 위한 3단계 평가절차

단계	방법
터널 진입 시 압축과 생성	운행차량과 터널입구 갭문의 3차원 형태를 영하여, 터널 입구로부터 내부 100m 또는 200m 점에서 진입 압축과 특성 추출(비정상 3차원 CFD 전산해석)
터널 내 압축과 전파	터널 내부의 압력과 전파는 검증된 비정상 1차원 파동전파 수치 시뮬레이션으로 수행한다. 터널 내부의 마찰과 소산이 미치는 영향은 터널 내부 벽면과 궤도구조(콘크리트 또는 발라스트)의 형태에 따라 결정된다. 마찰 매개변수는 가능하면 유사한 형태의 건축물의 매개변수를 적용해야 한다. - 진입 압축파를 입구 경계조건으로 하여 비정상 1차원 CFD 전산해석을 수행
터널 출구 미기압과 방사	터널출구 외부 기준위치에서 방사 입체각(solid angle) Ω 를 반영한 미기압과의 음압강도(Pa) 평가 1) 터널 출구 외부 20m 위치 2) 주거지 또는 학교나 병원, 축사 등의 특정 위치에서 음압강도 평가

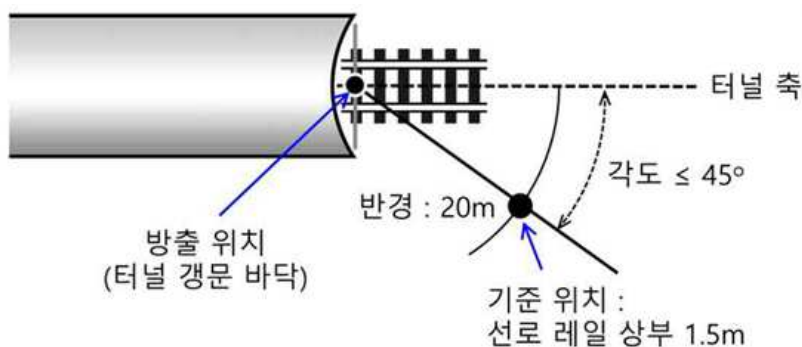


그림 16. 미기압과 영향평가 기준 위치

⑨ 미기압과 영향 평가를 위한 기준 위치는 그림 16과 같이 터널출구 수직면에서 20m 거리, 터널 축에서 45도 각도와 선로 레일 상부 1.5m의 지점으로 정의한다. 터널갭문이 경사지더라도(경사갭문 또는 벨-마우스 갭문) 그림 6의 터널출구 수직면 방출 위치는 변동하지 않는다.

⑩ 미기압과 영향 평가 시 적용된 전산해석(또는 S/W)의 건전성을 입증하기 위해서,



평가절차 단계별로 전산해석 입력값으로 적용한 열차의 터널진입 설계속도, 열차 편성길이, 터널 길이, 터널 입구의 경사궤면 각도, 열차 유효단면적, 터널 내공단면적, 터널 벽면의 마찰계수, 터널 출구에서의 방사 입체각 Ω 등을 제시하여야 한다.

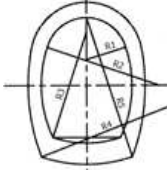
- (4) 터널의 단면은 응력, 변형 등에 대하여 구조적으로 안정하고 경제적인 형상이 되도록 하여야 한다. 일반적으로는 3심 혹은 5심원으로 이루어지는 마제형이나 난형으로 계획되고 있으나, 역학적으로는 원형에 가까운 것이 좋다. 터널의 단면형상에 따른 특성은 <표 27>와 같다.

설계에 있어서 필요로 하는 터널단면이 현저하게 큰 경우에는 사용목적이나 시공조건등을 고려해서 여러 중소 단면의 터널로 분할하거나, 또 굴착단면이 작은 경우에는 시공능률을 고려해서 적당한 크기의 단면으로 하는 등 설계상의 검토가 필요할 경우가 있다.

단면형상의 설계는 터널의 안정적인 측면에서 가장 기본적인 설계요소이기 때문에 지보재의 설계와 아울러 충분히 검토하여야 한다. 특히 팽창성이 현저한 지반에서는 통상의 지보재로 터널을 안정시킬 수 없는 경우가 있으므로 이와 같은 경우에는 폐합형 콘크리트라이닝을 설치하거나 원형에 가까운 단면형상으로 하는 등, 단면설계에 관한 검토가 충분히 이루어져야 한다.

- (5) 일반적으로 정수압응력장($K_0=1.0$)에서는 원형단면이 가장 이상적인 형상이며 정수압응력장이 아닌 경우($K_0 \neq 1.0$)의 응력조건에서는 초기 주응력비와 같은 장단축비를 갖는계란형 혹은 타원형이 역학적으로 안정하다. 터널 폭(W)이 높이(H)에 비하여 크면 측압계수가 높을수록 측벽부와 천장부의 응력집중 차이는 감소하여 터널 주변 지반의 안정성은 향상된다. 측압계수가 $K_0=2.0$ 으로 횡방향하중이 연직하중보다 2배가 클 때, 폭이 큰 타원의 경우에는 천장부와 측벽부에 응력집중계수(응력/원지반 연직응력)가 3.0으로 동일하지만 높이가 큰 마제형 터널의 경우에 천장부 응력집중계수는 7.0, 측벽부 응력집중계수는 0.5로 국부적으로 큰 응력이 발생(Hoek & Brown, 1980)한다. 이는 타원형 터널에 비하여 마제형 터널이 천장부에서는 압축파괴, 측벽부에서는 인장파괴가 발생할 가능성이 높아 구조적으로 불리함을 의미한다(<그림 17> 참조).

표 27. 터널의 단면 형상 비교

구분 형상	단 면	장 점	단 점
난형		- 구조적으로 안정 - 양수압에 안정 - 원형보다 굴착량이 적어 경제적	마제형보다 굴착량이 크므로 다소 비경제적
원형		- 구조적으로 가장 안정 - 양수압에 안정	- 굴착시공이 공법에 따라 난이 - 굴착량이 크므로 비경제적
마제형		- 굴착 시공성 양호 - 여굴량이 적어 경제적	- 원형보다 구조적으로 다소 불안정 - 양수압에 불안정

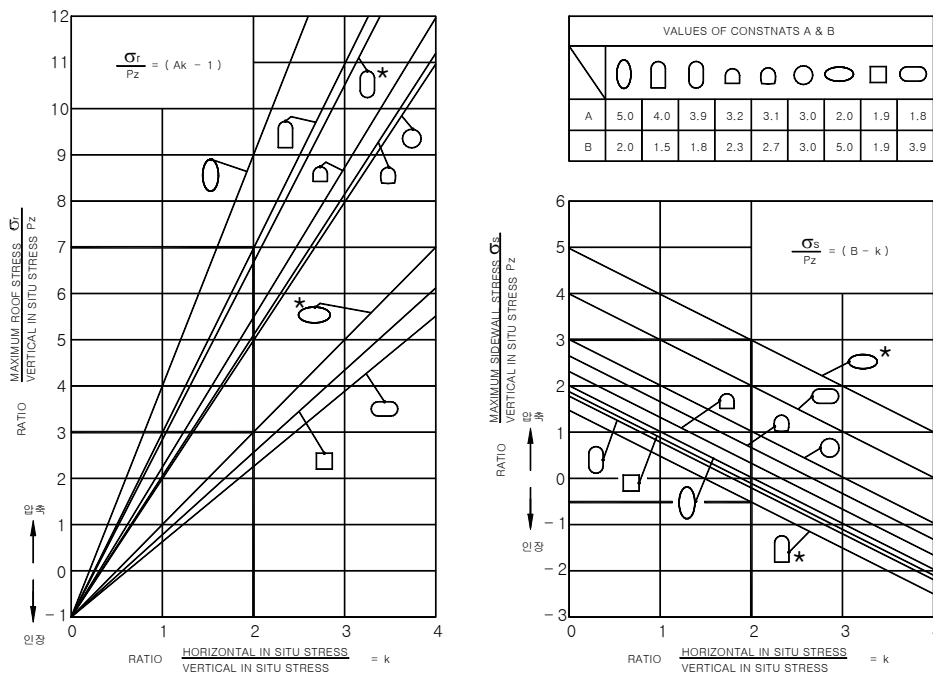


그림 17. 터널형상과 측압계수의 상관성에 따른 터널주변의 응력집중

- (6) 편평률이란 타원에 있어서 장축과 단축의 비를 의미하는 것인데 터널설계에서도 터널단면의 개략적 판정기준으로 편평률의 개념을 적용할 수 있다. 터널에서의 편평률이란 터널의 폭에 대한 높이의 비를 의미한다.

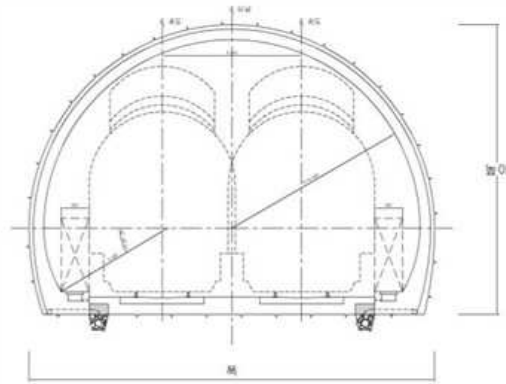


그림 18. 터널형상과 편평률의 정의

이러한 정의에 따라 편평률이 작아질수록 건축한계 상부의 여유 공간이 감소하여 굴착량을 줄일 수 있다. 그러나 편평률이 작아질수록 역학적으로 불안정한 단면이 되므로 단면설계시에는 건축한계 외측의 불필요한 공간을 최소화하며 동시에 안정성을 확보 할 수 있는 단면선정이 요구된다. 편평률을 조절하는 방법으로 중심각을 조정하는 방법과 $R2/R1$ 의 비율로 조정하는 방법이 있으며 터널의 폭과 $R1$ 을 고정할 경우에는 중심각과 $R2/R1$ 이 감소할수록 편평률은 감소하게 된다.

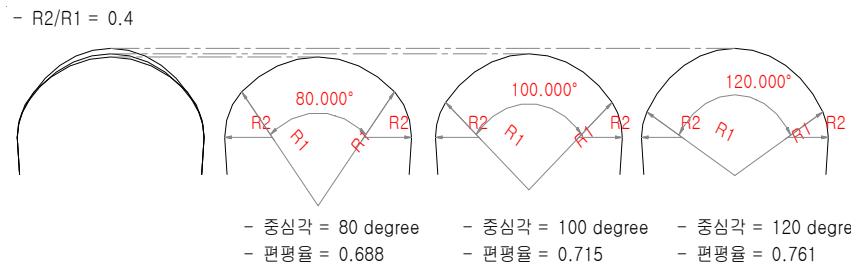


그림 19. 중심각 변화에 따른 편평률 변화

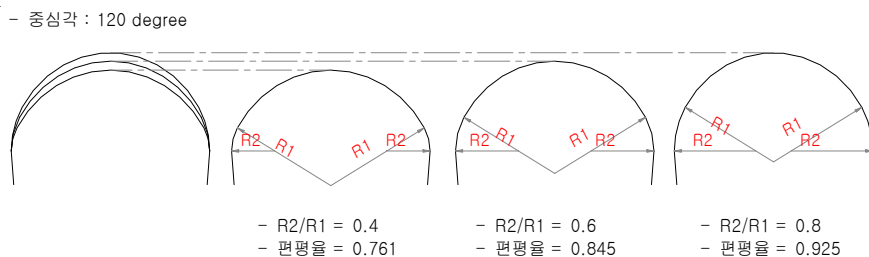


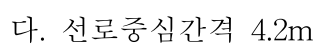
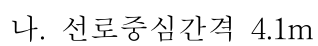
그림 20. $R2/R1$ 비의 변화에 따른 편평률 변화

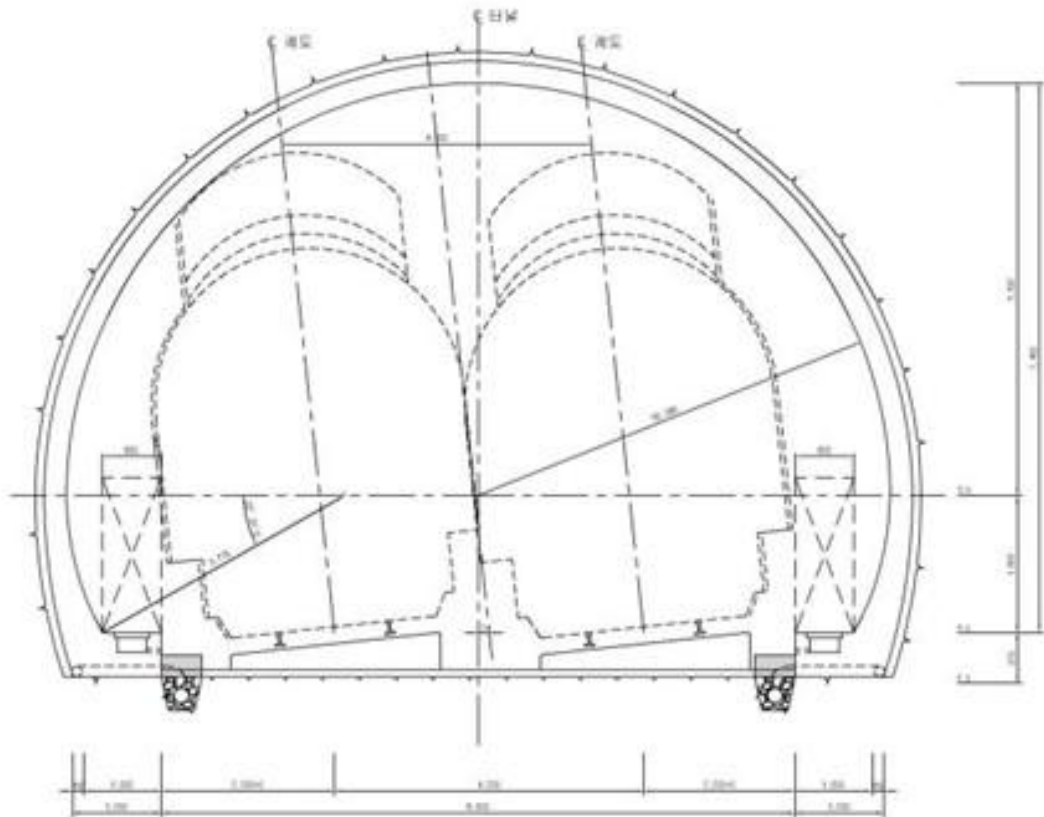
타원형의 단면을 터널 단면으로 적용할 경우 단면 설정이 복잡하므로 실제 적용은 이루어지지 않고 있으며, 일반적으로 타원형에 가까운 3심원 터널 단면을 채택하고 있다.

- (7) 지반조건이 열악하고 주변여건상 터널시공이 장래 문제를 유발할 가능성이 있는 지역 및 터널연장이 긴 장내 터널에서는 가급적 소·중단면 병렬터널을 계획하는 것이 바람직하다.
- (8) 터널굴착단면 계획은 내공단면을 기준으로 하여 지보재의 총두께, 콘크리트라이닝의 두께 및 허용편차를 고려하여, 구조적으로 유리한 형상으로 결정한다.
또한 동일 작업구간내의 내공단면은 가급적 동일한 규격 및 형상으로 표준화하여 시공성을 높일 수 있도록 계획하여야 한다.
- (9) 철도터널의 내공단면은 철도건설규칙에 제시된 건축한계 뿐만 아니라 열차대피, 유지보수 및 안전점검을 위한 보도를 설치하여야 하고 배수로 및 신호, 통신 등의 설비에 필요한 여유공간이 확보되어야 한다.
또한 곡선반경, 선로중심간격, 캔트의 영향, 건축한계의 확폭량 및 구축중심 이격거리 등에 대한 종합적인 검토가 이루어져야 한다.
- (10) 철도터널에 자갈도상을 설치하는 경우 발파 바닥면이 불량하여 배수 및 밀실충전 등의 품질관리가 미흡할 수 있으므로 발파 바닥면을 정리하거나 인버트부에 최소 100mm의 린콘크리트를 설치하는 방안(필요시 와이어메쉬 추가 보강)에 대하여 검토하여야 한다.

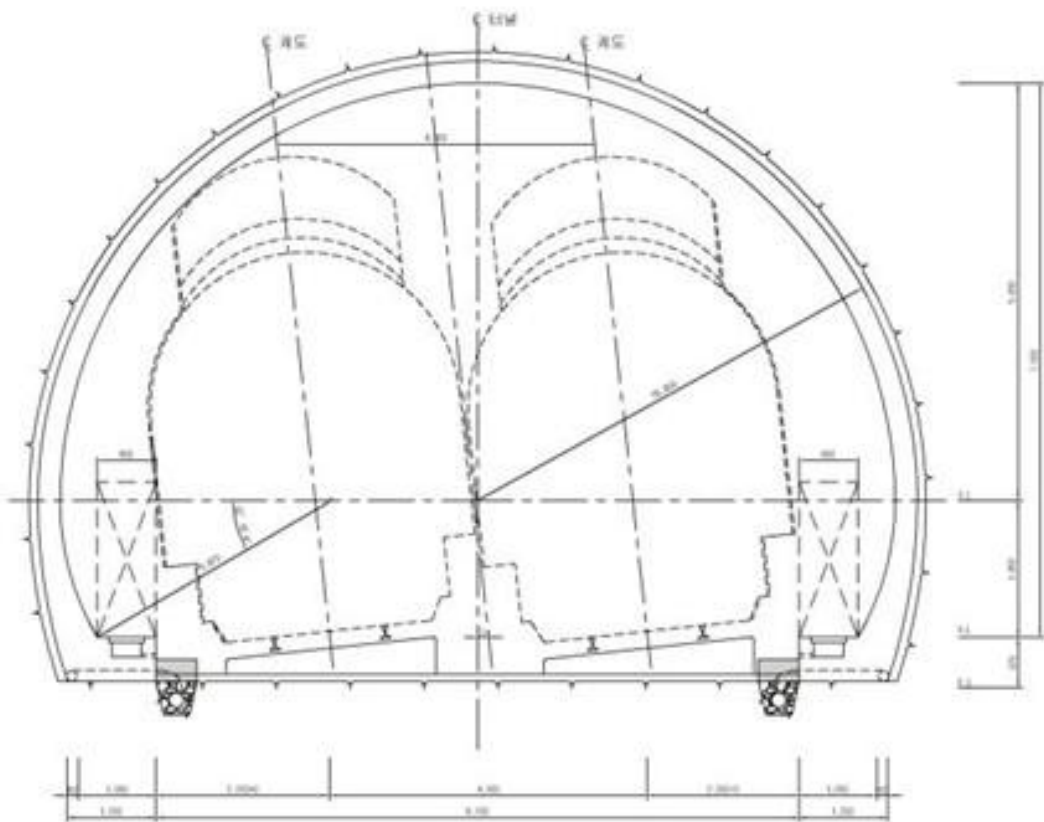


가. 선로중심간격 4.0m

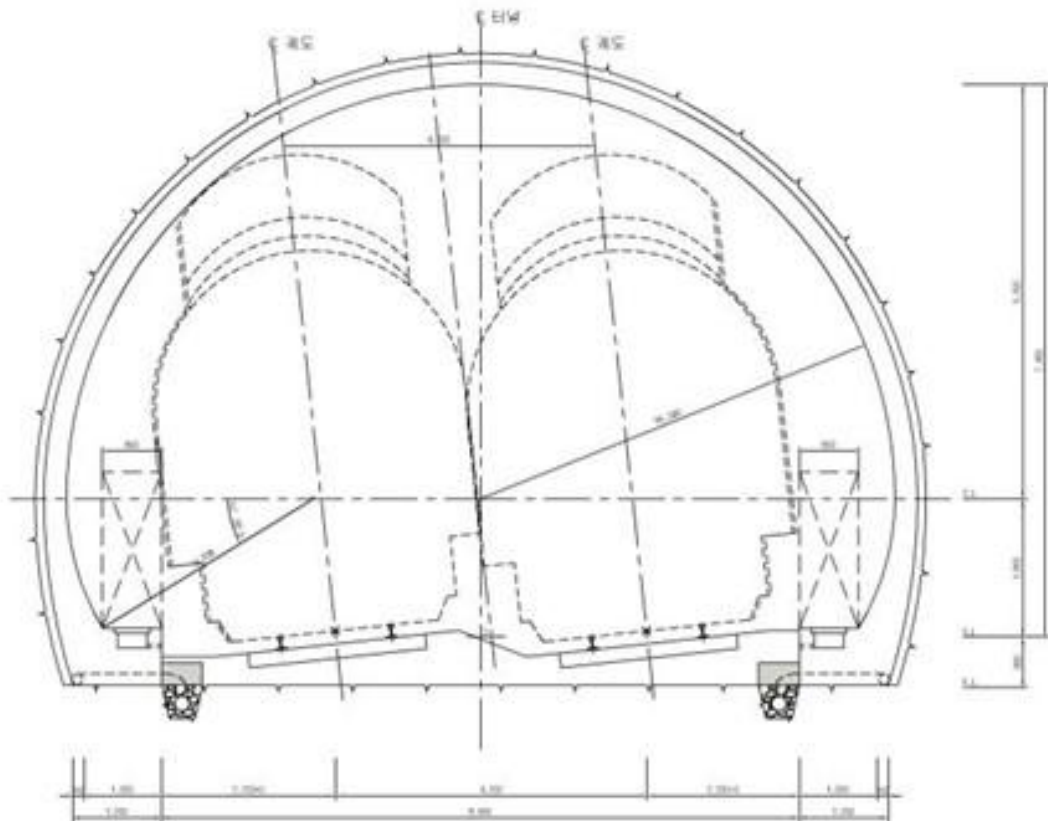




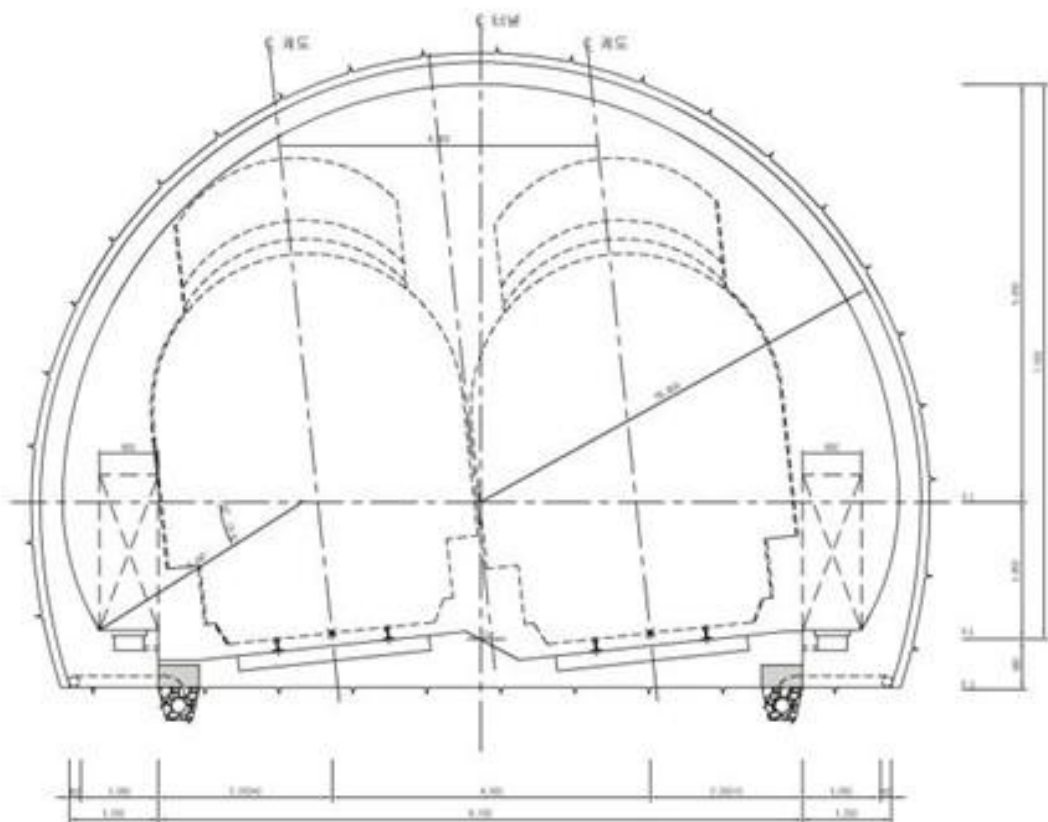
라. 선로중심간격 4.3m



다. 선로중심간격 4.2m



라. 선로중심간격 4.3m





3. 방수 및 배수계획

3.1 방수계획

터널계획 시에는 지반에서의 용출수로 인하여 콘크리트라이닝면에서 누수가 발생하지 않도록 적절한 방수계획을 수립하여야 한다.

방수형식으로 콘크리트라이닝 배면에 지하수의 배수경로를 만들어 유도배수 시킴으로써 콘크리트라이닝에 수압이 작용하지 않도록 하는 배수형 방수형식과 콘크리트라이닝 배면에 설치된 방수층이 지하수가 터널내부에 유입되는 것을 차단하여 콘크리트라이닝이 수압을 받도록 하는 비배수형 방수형식으로 구분한다.

방수형식은 지형, 지상 토지이용현황, 토피 정도, 지하수의 특성 및 수위, 터널 상부 암층의 두께 등 현장 지반조건과 터널형상 및 규모 등의 조건을 감안하여 공사의 시공성 및 경제성, 유지관리 등을 종합 검토하여 결정하여야 한다.

- (1) 배수형 방수형식의 터널에는 원활한 배수계통과 배수단면을 확보하여야 하며 유지관리상 배수계통의 기능 확인과 보수가 용이하도록 계획하여야 한다. 특별히, 터널의 수명 기간 동안 배수시설이 제 기능을 원활히 유지하도록 계획하여 콘크리트라이닝에 수압이 작용하지 않도록 유의하여 계획하여야 한다.

또한 배수시설의 용량은 터널내로 유입되는 유수, 화재시의 소화용수 및 측벽 유입수 등을 고려하여 결정하여야 한다.

- (2) 비배수형 방수형식의 터널은 터널 시공특성에 부합되는 방수공법 및 방수재료를 선정하여야 하고 작용수압에 충분히 견딜 수 있는 콘크리트라이닝을 계획하여야 하며 유사시 또는 과도한 누수에 대비하여 적정용량의 배수시설을 계획하는 것이 바람직하다. 그러나 수압이 과도하게 작용하게 되는 경우에는 유입수량을 줄여서 배수형으로 계획하는 것이 더 바람직하다.

3.2 배수계획

터널에 작용하는 수압을 해소하기 위하여 콘크리트라이닝과 숏크리트 사이의 유입수를 원활히 유도하여 배수되도록 하여야 한다. 배수계획은 터널의 입지조건, 용출수량, 종단경사, 폐합형 콘크리트라이닝의 유무 등을 충분히 고려하여 배수시설의 구조, 단면의 크기 및 위치 등을 결정하여야 한다.

- (1) 시공 중 유입수 처리

터널 굴착 중에는 막장면과 숏크리트가 타설된 벽면 및 터널바닥면을 통해서 지하수가 터널내부로 유입된다. 이때에는 전 굴착면이 자유수면이 되어 굴착면에는 수압이 전혀 발생하지 않게 되고 다량의 수량이라 할지라고 자유롭게 유입하게 된다. 시공 중유입되는 지하수는 굴착저면의 양측면이나 중앙에 설치된 배수구를 통하여 신속히 배수하여 굴착면이 지하수에 의해 연화되지 않도록 하여야 한다. 시공 중 유입

수량을 측정한 후 예상했던 유입수량과 비교하여 배수시설의 규모를 재조정하여야 한다.

(2) 운행 중 유입수 처리

배수형 터널에서 2차라이닝이 완공된 후에는 굴착면 주변의 지하수는 부직포로 된 유도배수층을 따라 흐르고 터널 저면의 측방향배수관이나 중앙배수관에서 집수되고 외부로 배출된다. 운행 중 처리하여야 할 수량은 터널주변의 지하수위, 지층의 투수계수, 유도배수층의 통수능력과 상관계수에 의해 결정된다. 즉, 주변지반의 지하수위가 낮거나 지반의 투수성이 낮아 유입수량이 유도배수층의 통수가능량 보다 적을 경우에는 유입량이 곧 집수정 용량산정용 수량이 된다. 그러나 유도배수층의 통수능력보다 더 많은 양의 지하수가 유입될 경우는 유도배수층의 통수량에 의해 집수정의 용량이 결정되어야 한다.

터널 유입수의 외부 배출시 인근 하천에 직접 방류가 불가한 경우에는 지자체 하수도 사용조례에 의거하여 오폐수처리 기간 동안의 하수도 사용료를 설계에 반영하여야 하며 인근 하천에 직접 방류가 가능한 경우에는 별도 하수관로 부설비용과 하수도 사용료를 비교 평가하여 경제적인 것으로 설계에 반영하여야 한다.

4. 부속설비 계획

환기, 조명, 비상용시설 등의 터널 부속시설은 터널의 선형, 경사에 영향을 주기 때문에 시설계획, 시공성, 유지관리와의 관련을 종합적으로 검토하여 계획하여야 한다.

터널의 부속설비는 운영시의 유지관리용 영구설비와 공사 중 시공을 위한 임시설비로 구분하여 계획하여야 한다. 부속설비 계획에는 기능의 부합성과 함께 경제성 및 유지관리성을 종합적으로 검토하여 수립하여야 한다.

(1) 영구설비

일반적인 영구설비에는 환기설비, 전기설비, 급배수설비, 방재설비, 보안설비, 검사원의점검설비, 대피설비, 통신설비 등이 있다. 영구설비 계획 시에는 터널의 목적 및 기능에 따라 설비종류 및 규모를 결정하여야 한다.

(2) 임시설비

공사용 임시설비에는 자재저장 시설, 자재반입 및 버력처리 설비, 용수 및 배수시설, 오수 및 폐수 정화설비, 환기 및 집진설비, 전기설비, 방음 및 방진설비, 슛크리트 배합 및 타설 설비, 비상급기설비, 통신 및 보안 설비 등이 있으며 설비종류 및 규모결정은 공사규모와 시행공법, 공사기간, 현장여건 등을 고려하여 결정하여야 한다.



5. 환기계획

터널의 환기설비는 공사 중 임시설비와 운영 중의 유지관리용 설비로 구분되며 공사 중 임시설비는 터널내에서 작업이 원활하도록 하여야 하며 종업원의 건강에 영향이 미치지 않도록 일정규정 이상의 상태를 유지하여야 한다.

유지관리용 환기설비는 철도차량의 배기가스를 터널 밖으로 배출시켜 터널내 오염물질의 농도가 허용수준 이하로 유지될 수 있도록 터널연장과 교통량에 적합한 형식으로 계획하여 기능을 발휘할 수 있도록 하여야 하며 환기계획은 교통, 기상, 환경, 지형, 지물 및 관련법규를 바탕으로 소요환기량을 산정하여 자연환기와 기계환기 중 적합한 방법을 선정하여야 한다.

기계환기 선정 시에는 열차공력, 구조물현황 및 위치적 특성을 고려하여 설비의 배치 및 제원을 결정하여야 하며 환기시설은 화재발생 시 배연시설로서 운용되어야 하므로 환기방법 선정 시에 비상시 안정성을 검토하여야 한다.

6. 계측계획

사전조사 결과를 기초로, 계측의 목적, 터널의 용도 및 규모, 원지반조건, 주변환경조건 등을 충분히 고려하여 설계, 시공에 적합한 체계적인 계측계획을 수립하여야 한다.

터널의 계측관리 계획은 터널굴착에 따른 지반의 거동과 각 지보재의 효과를 파악하고 공사의 안정성 및 경제성을 확보하여야 하는 공사 중 계측계획과 터널 준공 후 운영 중의 안전을 확보하기 위하여 시행되는 유지관리 계측계획으로 구분하여 수립하여야 한다.

(1) 시공 중

공사 중 계측계획 수립 시는 계측의 목적, 문제점 및 계측항목의 선정과 위치, 측정빈도 등을 터널의 기능과 중요도에 따라 적합한 계측계획을 수립하여야 한다. 계측결과는 신속히 분석하여 시공에 반영되도록 한다.

(2) 유지관리용

운영 중 시행되는 유지관리계측은 터널의 기능과 중요도에 따라 계측 목적을 정하고, 목적에 적합한 계측계획을 별도로 수립하여야 하며, 가능한 한 시공 중 계측계획과 연계하여 관리될 수 있도록 계획하여야 한다.

7. 환경측면의 계획

터널계획은 위치 선정 시 터널 갱구 부근이나 연직갱 부근 등은 높은 깎기 비탈면의 억제 등 주변경관과의 조화에 대하여 충분히 고려하여야 한다.

또한 갱구 부근은 공사 후 가능한 원지반 상태로 복원이 될 수 있도록 계획하여야 한다.

공사 중에는 갱내에서의 작업환경을 양호한 상태로 유지하여야 할 뿐만 아니라 공사

중 발생하는 폐수 등이 주변지역을 오염시키지 않도록 적합한 설비를 계획하여 처리하도록 하여야 한다.

또한, 공용중에도 환경오염을 유발하는 물질이 배출되지 않도록 계획단계에서 상세히 검토되어야 한다.

8. 방재계획

장대터널의 경우 터널안의 화재 및 차량사고 등이 발생시 2차사고를 예방하고 인명, 재산상의 피해를 최소화하도록 사고에 대비한 방재계획이 검토되어야 하며, 경제적인 유지관리가 될 수 있도록 계획하여야 한다.



해설 6. 설계일반

1. 설계의 기본개념

1.1 터널굴착과 지반거동 특성

물질에 외력을 가하게 되면 그 물질 내부에는 응력이 발생하고 동시에 변위도 발생하게 된다.

응력의 형태와 크기는 외력이 작용하는 형태와 크기에 따라 달라지고 변위의 크기는 그 물질의 성질에 따라 달라지게 된다. 모든 물질은 이렇게 외력에 대해서 거동하며 변형과 파괴에 저항하는 능력을 가지고 있는데 이의 최대저항능력을 그 물질의 강도라고 부르고 형태에 따라 압축, 인장, 전단 등에 대한 고유 값으로 나타낸다. 자연지반에는 오랜 세월을 통해 거처오며 자체의 응력을 보유하고 있는 것을 초기응력이라고 부른다. 초기응력은 그 지반응력이력(Stress History)에 의존하게 되는데 편의상 수직응력과 수평응력으로 구분하여 취급하게 된다.

이들의 크기에 있어서는 수직응력이 수평응력보다 크기도하고 이와 반대가 되기도 하며 경우에 따라서는 최대응력이 수직도 수평도 아닌 경우도 발생하게 된다. 시공대상이 되는 자연지반은 이러한 초기응력의 다양성에도 불구하고 그 응력 하에서 안정된 상태를 유지하고 있다. 즉 자연지반이 가지고 있는 응력상태는 그 지반의 고유저항값(강도) 이하에서 평행상태를 유지하고 있음을 의미한다.

이러한 자연지반에 터널을 굴착하게 되면 원래의 지반응력상태가 변하게 된다. 이렇게 변화된 응력과 지반강도와 관계에서 터널이 안정상태를 유지하기 위해서는 지보재를 필요로 하거나 그렇지 않은 경우도 발생하게 된다.

이와 같이, 터널설계에서는 지반이 발휘할 수 있는 공학적인 능력을 평가하는 방법에 따라 지반을 두 가지의 극단적인 상태로 분류할 수 있다.

첫째는 지반을 자체 지보능력이 없는 것으로 간주하거나 적극적으로 이를 활용하고자 하지 않는 경우이고, 둘째는 지반자체가 보유하고 있는 지보능력을 최대한 활용하고자 하는 경우이다. 전자의 경우는 터널굴착으로 인해 발생하는 모든 하중을 신설되는 터널의 지보재로 하여금 지지하도록 한다. 이 경우 하중의 크기는 지반조건과 터널의 형상과 심도 등에 따라 달라지게 된다. 다시 말하면 지반의 이완하중 발생을 방지하려 하거나 지반자체의 지보능력을 적극 활용하고자 하는데 관심을 두지 않는 이른바 재래식 터널공법이다. 반면, 후자의 경우는 지반이 원래 가지고 있는 지보능력이 적게 손상되도록 굴착하고 동시에 지반이완 등을 적극 방지하여 지반자체의 지보능력을 적극적으로 활용하여 경제적인 지보재 만으로도 터널의 안정상태를 유지시키는 터널공법이다.

1.2 지반의 지보능력을 활용한 터널공법

지반의 지보능력을 활용한 터널공법은 슛크리트, 강지보재 및 록볼트로 구성된 가축성지보재(이하 지보재)를 활용하여 터널굴착면 주변의 지반 내부에 지반아치를 형성하여 이 아치로 하여금 터널의 공동을 안정되게 유지하는 지보기능을 발휘하도록 한다. 즉, 지반자체가 터널을 형성하는 주된 역할을 수행하도록 적절한 지보부재를 적정

한 시기에 설치하도록 하는 노력을 필요로 하는 공법이다. 지반의 지보능력을 활용하기 위해서는 터널 내부로의 변위가 발생하도록 허용되어야 하되 변위는 굴착면 주변 지반의 강도를 상실시키지 않는 범위 이내가 되도록 하여야 한다. 또한 지반변위는 지반의 특성과 지보재의 설치시기 및 강성에 의해 좌우되기 때문에 지반의 실제 거동을 관찰해 가면서 신축성 있게 시공하도록 설계되지 않으면 안된다.

굴착 후 굴착면 주위 지반의 응력을 시간에 따라 계속 변화한다는 점과 실제 지반이 설계단계의 지반과 상이한 경우가 많다는 점을 감안할 때 이 공법은 시간성과 지반변화에 대한 합리적인 대응성을 그 골격으로 하고 있음을 알 수 있다. 즉, 지보재와 지반과의 상관관계의 문제이다.

강지보재, 슛크리트 및 록볼트 등으로 구성된 주지보재(Primary Support)만으로 안정성이 확보된 터널에 설치되는 콘크리트라이닝은 터널의 수명기간 동안 구조물로서의 기능유지, 미관유지, 터널내의 시설물 보호 등의 역할을 담당한다. 그러나 주지보재 재료의 안정이 확보된 터널이라고 할지라도 시간이 경과하면서 원지반 특성이 저하되거나 지보재 재료의 약화 등에 의해 주지보재의 지보능력이 저하된다면 지반은 다시 평행상태를 잃게 되어 콘크리트라이닝에 하중이 전이될 수 있다. 이 경우에는 콘크리트라이닝이 이 하중을 안전하게 지탱할 수 있도록 하여야 한다.

2. 설계방법의 선정 및 수행방향

2.1 설계방법의 선정

- (1) 지반의 거동 특성과 지보재의 지보력이 상호 연합하여 터널의 안정성이 구조물의 수명기간동안 유지될 수 있도록 하는 설계방법을 선정하여야 한다. 이 경우 지반의 거동특성상 지보능력 활용이 불가능할 경우에는 지반보강을 실시하거나 지보재로 하여금 지반을 모두 지지하도록 하는 방법을 채택할 수 있다. 경우에 따라서는 쉼트, 메서쉼트, 동결공법 또는 압기공법 등을 채택할 수 있다. 이 경우는 모두 지반이 지보부재 설치기간 동안의 자립성을 유지할 수 없는 경우에 해당된다.
- (2) 설계방법 선정시에는 유사조건에서의 시공실적을 적극 참조하여야 한다. 설계 당시의 유사조건 실적적용 기준이 되는 것은 조사된 지반조건의 분류가 된다.
- (3) 지반의 등급이 분류되면 해당 지반 등급에 적용할 표준적인 지보패턴과 굴착방법을 정하여야 한다. 이 경우 전술한「(2)」의 유사지반조건에서의 시공실적은 물론 RMR방법 및 Q-시스템에서 제안한 지보패턴을 참조하여 지보패턴을 정할 수 있다. 단, Q-시스템에서 제안한 방법을 사용하여 점유보강이 없는 일반 슛크리트의 두께를 정하고자 할 경우에는 점유보강 유무에 따른 슛크리트의 특성을 감안하여 그 두께를 결정하여야 한다.
- (4) 일단 지보패턴 및 굴착방법과 순서가 선정되면 이에 대한 적합성을 해석적인 방법으로 검증하여야 한다. 이 때 주의하여야 하는 중요사항으로 해석적인 검증과정에는 경계조건, 적용 입력치, 해석기법상의 제한이 있으므로 해석결과에 너무 집착하여 설계를 확정하지 않도록 하여야 한다는 것이다. 터널설계에서는 교과서적이 아닌 실제적인 경험 기술이 중요한 요소가 됨을 잊어서는 안된다.
- (5) 터널설계에는 불확실한 제반요소가 많이 있다는 점을 간과해서는 안된다. 따라서 다



소 보수적이면서도 경제성을 추구하는 지보패턴을 채택하되 동일한 지반조건에 대해서도 시공순서에 따라 지보패턴의 적합성이 달라질 수 있음을 주지하여야 한다.

2.2 터널설계의 목표

터널의 설계에서는 조사결과를 바탕으로 다음 사항들을 추구하도록 하여야 한다.

- (1) 안정성 : 시공시는 물론이고 완공후에도 터널의 수명기간동안 안정한 구조물로서 기능을 발휘할 수 있도록 설계하여야 한다. 특히 토사지반의 얇은 터널 또는 상부지반이나 터널 인근지역에 개발이 예상되는 경우에는 이에 대한 영향을 미리 설계에 반영하도록 하는 것이 바람직하다.
- (2) 시공성 : 아무리 좋아보이는 계획이라고 할지라도 시공성이 고려되지 않았다면 결코 좋은 설계가 될 수 없다. 시공성에서는 현장의 조건은 물론 기술수준까지 감안하여 평가하여야 한다. 즉, 제공될 수 있는 기술력으로 수행이 가능한 설계가 되도록 하여야 한다.
- (3) 경제성 : 불확실한 설계일수록 비경제성을 내포하기 쉬우므로 현장의 실제 지반조건과 예측결과를 적극 활용하도록 함으로써 경제성을 도모할 수 있도록 설계하여야 한다. 특히 과도한 경쟁에 의한 비경제적인 설계가 되지 않도록 주의하여야 한다.
- (4) 내구성 : 주변의 환경 등을 면밀히 분석하여 터널의 수명기간동안 구조물의 내구성이 유지되도록 하여야 한다. 이 경우에는 지하수 영향 등도 고려하여야 한다.
- (5) 유지관리의 효율성 : 터널의 구조물은 구조물 수명기간동안 유지관리가 쉬운 구조물이 되도록 설계하여야 한다. 배수형 터널의 경우에는 장기간 동안에도 배수계통의 기능이 유지될 수 있도록 설계하여야 한다.

2.3 설계의 수행방향

- (1) 터널의 설계시에 시행되는 지반조사는 지형조건의 제약으로 인해 조사가 어려운 경우가 많기 때문에 실제 시공시의 지반조건이 설계당시 예측한 조건과 상이하게 되는 경우가 자주 발생하게 된다. 이러한 경우가 발생할 것을 고려하여 시공법 및 지보방법 등을 변경할 수 있도록 계획하여 두지 않으면 시공시에 어려움을 겪게 된다. 특히 설계시에 적용된 제반자료와 분석결과 및 예측사항을 제시하여 실제 시공조건의 판단자료가 되도록 하여야 현장조건의 적합한 방법으로의 변경이 용이하게 된다. 즉, 터널의 설계는 다른 구조물의 설계와는 달리 확정설계 개념보다는 현장조건에 따라 변경될 수 있음을 염두에 두고 실시되어야 한다.

그러나 변경사항을 내포하고 있기 때문에 근거 없이 불합리한 설계를 추구하여도 된다는 것은 결코 아니다. 조사결과에 충실하여 최적안을 도출해 낸다 할지라도 현장 지반변화의 다양성과 조사의 제한성에 따른 불가피한 변경이 대두될 수 있다는 점이 설계내용에 고려되어야 한다는 것이다.

- (2) 현재 국내에서는 굴착터널의 대부분이 NATM 개념의 터널공법이기 때문에 터널 주변의 지반이 터널을 형성하는 주된 역할을 수행하게 된다. 따라서 터널 설계시에는 터널 주변지반이 원래 보유하고 있는 지보능력을 손상시키지 않는 굴착방법을 적용하여야 하고 지반자체의 지보능력이 최대한 발휘될 수 있는 터널의 단면형상, 굴착공법 및 방법, 지보재 및 시공순서 등을 선정하여야 한다. 특히 원지반의 지보력이

손상되거나 여굴이 발생할 경우에는 그 대책을 제시하여야 한다. 지반은 굴착 후 시간경과에 따라 특성이 변화하기 때문에 자칫 시간을 놓치게 되면 터널이 불안정하게 되거나 아주 비경제적으로 지보재를 시공하게 된다. 적기에 적절한 지보재가 시공되도록 설계하여야 한다.

- (3) NATM 개념의 터널공법으로 터널을 구축하게 되면 터널 주변의 지반을 보호해 주도록 하여야 한다. 이 경우에 대한 특별시방을 작성하는 것이 바람직하며 터널굴착이 주변시설물에 미치는 영향도 철저히 분석하여 이에 대한 합리적인 대안을 제시하여야 한다.
- (4) 터널설계에는 공사 중은 물론 운용시에 대한 환기, 조명, 방재시설 등도 고려하여 이들의 역할이 잘 발휘될 수 있도록 설계하여야 한다.

3. 설계의 기본요건

- (1) 터널설계에 포함되어야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 평면 및 종단선형
- ② 굴착대상지반의 분석 및 분류
- ③ 터널단면의 형상
- ④ 굴착공법 및 방법(중방향 시공법 포함)
- ⑤ 지보패턴 선정
- ⑥ 각종 지보재의 규격 및 시공순서
- ⑦ 필요한 보조공법
- ⑧ 방수 및 배수 방법
- ⑨ 동결방지대책
- ⑩ 콘크리트라이닝의 타설시기 검토 및 시공
- ⑪ 계측계획 및 수행방법
- ⑫ 각종 부대시설
- ⑬ 터널시공에 따른 환경영향분석
- ⑭ 공사시방서
- ⑮ 시공계획
- ⑯ 설계내역서
- ⑰ 기타 유지관리에 필요한 사항

- (2) 신선한 암반을 통과하는 터널의 경우 콘크리트라이닝 역할을 분석하여 경우에 따라 콘크리트라이닝을 생략할 수 있으나 이 경우 전차선과 같은 설비의 지지 필요성 등 콘크리트라이닝의 여러 기능들을 면밀히 검토하여 발주자와 협의하여야 하며 국내의 제반기술 환경여건도 감안하여야 한다.
- (3) 설계에는 시공시의 제반여건이 설계당시의 조건과 상이함으로부터 비롯될 수 있는 문제점에 대한 조치사항을 제시하여야 하며 다음 <표 26>의 사항을 포함하여야 한다.



표 26. 설계내용의 변경사항

주요항목	주요내용
지반의 재분류	• 적용지반의 분류
설계단면의 변경	• 지보재 • 변형 여유량 • 단면형상
적용지보패턴의 변경	• 슛크리트 두께 • 슛크리트의 재질 • 록볼트의 길이, 본수 • 강지보재 설치간격 및 규격
굴착방법의 변경	• 벤치컷 공법(코어(Core)남김,링컷 포함) • 선진도강공법 • 기타 굴착단면 분할
보조공법 도입	• 굴진면 안정화 대책 • 지반보강 대책 • 용출수 대책 • 지표면 침하 대책 • 근접 구조물 대책
단면의 폐합	• 인버트 콘크리트 타설(조기 시공) • 인버트 슛크리트 타설(가폐합) • 콘크리트 라이닝 강성 증대 • 이중 라이닝(임시 라이닝)
터널공법 변경	• 개착터널 공법으로 전환 • 토공구간으로 전환
기타	• 상기내용 외에 시공 시 제반 여건이 설계 시의 조건과 상이하여 변경이 요구되는 사항

RECORD HISTORY

- Rev.0('12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는 데 목적을 둬.
- Rev.1('14.1.10) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영
- Rev.2('17.03.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(관련 법령, 기준 수정)을 반영
- Rev.3('17.07.03) “국가경쟁력 강화를 위한 철도건설기준 선진화 연구결과 반영요청(기술연구처-573호, '17.2.10)에 따른 개정(설계기준처-1920호)
- Rev.4('20.06.10) “철도 터널설계 선진화 용역” 성과를 반영하여 도시지역을 통과하는 터널, 장래 도시계획 수립된 지역에서 설계시 고려사항, 콘크리트 라이닝 기초 안정성 확보와 관련된 기준 제시(기준심사처-2334호)
- Rev.5('22.12.09) “고속화철도(250km/h이하) 터널 미기압과 저감 후드 기술개발” 연구결과 및 철도터널 동결발생시 피해방지 대책 반영(기준심사처-4755호, '22.12.12)
- Rev.6('23.12.29) 터널 전도성 섬유 사용제한 기준 반영(기준심사처-5045, '23.12.29)
- Rev.7('24.06.04) 상위기준(KDS 등)과 체계일치, 현행화 등 시행을 위한 건설기준 고도화 용역 검토사항 등을 반영한 KR CODE 체계 개편 및 개정(심사기준처-715호, '24.06.04)

KR CODE 개편사항		
당 초		개 정
KR C-12010 터널계획	⇒ (코드 간 통합)	KR C-12010 터널 조사 및 계획
KR C-12020 터널조사		

- Rev.8('26.08.13) “철도시설 안전성 제고를 위한 표면배수시설 기준개정 및 친환경 사면 보호공법 개발 연구용역” 성과를 반영하여 한랭지 터널 선정기준(1월 최저 평균기온) 제시(심사기준처-3342, '26. 8. 12.)