

KR C-12010

Rev.4, 12. December 2022

터널계획

2022. 12. 12.



국가철도공단

REVIEW CHART

[illegible]

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. 계획	4
2.1 적용범위	4
2.2 계획일반	4
2.3 터널의 기본계획	4
3. 설계일반	9
3.1 설계기본방향	9
3.2 설계방법선정	10
3.3 설계기본요건	10
 해설 1. 계획일반	 12
해설 2. 터널의 기본계획	14
1. 선형계획	14
1.1 평면선형 계획	14
1.2 종단선형 계획	18
2. 단면계획	18
3. 방수 및 배수계획	25
3.1 방수계획	25
3.2 배수계획	25
4. 부속설비계획	26
5. 환기계획	26
6. 계층계획	27
7. 환경측면의계획	27
8. 방재계획	28
해설 3. 설계일반	29
1. 설계의 기본개념	29
1.1 터널굴착과 지반거동 특성	29
1.2 지반의 지보능력을 활용한 터널공법	30
2. 설계방법의 선정 및 수행방향	30
2.1 설계방법의 선정	30
2.2 터널설계의 목표	31

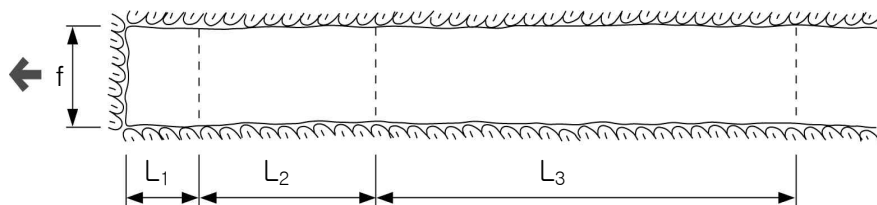


2.3 설계의 수행방향	32
3. 설계의 기본요건	32
RECORD HISTORY	35

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, L_1 : 굴진구역, L_2 : 굴착구역, L_3 : 후방구역)

그림 1. 굴진면과 굴착부

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

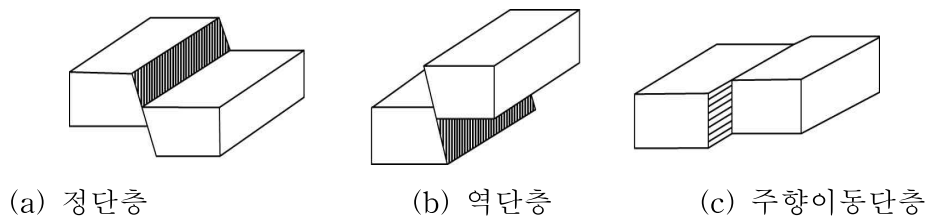


그림 2. 단층의 종류

- (7) 록볼트(Rock Bolt) : 굴착암반면의 보강을 위하여 삽입하는 볼트이며, 암반을 일체화 함으로써 원지반의 안정을 위하여 설치한다. 록볼트의 정착방식에는 선단정착방식, 전면정착방식 및 병용방식.



- (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) 충격성 소음(폭발음, Sonic Boom) : 충격파가 터널 출구에서 외부로 방사되어 발생하는 폭음.
- (10) 입체각(Solid Angle) : 터널 출구에서 방출되는 미기압파가 모아지거나 확산되는 방향성을 반영하는 무차원 수이며 단위는 sr(steradian). 터널 외부 지형환경을 묘사하는 경험상수임.
- (11) 20Pa(Z-보정 음압레벨 환산 120dB) : 음압강도값이 20Pa로써 Z-보정(Z-Weighting, Non-Weighting)을 통한 음압레벨(dB)로 변환한 계산 값은 120dB임.
- (12) CFD : 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)은 컴퓨터를 통해서 유체역학 이론을 바탕으로 유체 거동을 예측
- (13) 비정상 1차원 CFD 전산해석 : 1차원 좌표 공간에서, 유동장의 임의의 한 점에서 시간에 따라 유동 특성이 변하는 유동을 CFD(전산유체역학) 방법으로 해석
- (14) 비정상 3차원 CFD 전산해석 : 3차원 좌표 공간에서, 유동장의 임의의 한 점에서 시간에 따라 유동 특성이 변하는 유동을 CFD(전산유체역학) 방법으로 해석
- (15) 배연(Smoke Exhaust) : 화재 시 발생하는 연기 및 열기류를 화재지점으로부터 외부로 배출.
- (16) 버력 : 터널 굴착과정에서 발생하는 암석덩어리, 암석조각, 토사 등의 총칭.
- (17) 벤치(Bench) : 터널 단면을 상·하로 분할하여 굴착하는 경우에 분할면.
- (18) 쏫크리트(Shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 부착시켜 시공(타설)하는 콘크리트.
- (19) 습곡(Fold) : 화성암, 변성암, 퇴적암에서 변형 전 평면에 가까운 면들이 변형에 따라 물결처럼 굽어 있는 구조.
- (20) 안전영역(Safety Zone) : 터널의 안전에 영향을 미치는 정도를 규정한 터널 주변의 영역으로서 각 영역별로 터널안전을 위한 대책을 강구하도록 규제하는 영역.
- (21) 애추(Talus) : 식생피복이 되어 있지 않은 급한 기울기의 비탈면 아래에 풍화암 부스러기가 풍화작용 및 중력 작용으로 인하여 낙하함으로써 군집 형성된 돌무더기의 퇴적물.
- (22) 여굴 : 터널굴착공사에서 계획한 굴착면보다 더 넓게 굴착된 것을 말한다.
- (23) 용출수 : 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 지칭한다. 인버트의 형상에 따라 곡선형 인버트와 직선형 인버트로 분류하며, 인버트 부분의

콘크리트라이닝 타설 유무에 따라 폐합형 콘크리트라이닝과 비폐합형 콘크리트라이닝으로 분류.

- (25) 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.
- (26) 제연(Smoke Control) : 화재 시 연기 및 열기류의 흐름방향을 제어하는 것.
- (27) 주지보재 : 굴착 후 시공하는 지보재로서 보조지보재 및 콘크리트라이닝을 제외한 지보재의 총칭이며 강지보재, 슛크리트 및 록볼트 등으로 구성.
- (28) 지반 : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분.
- (29) 지반조건(Ground Condition) : 터널주변 지반의 지형, 지질, 수리·수문 조건 등.
- (30) 지보재 : 굴착 시 또는 굴착 후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭을 말한다.
- (31) 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 슛크리트, 록볼트, 강지보공과 보조공법 등을 조합한 것.
- (32) 초기응력 : 굴착 전에 원지반이 가지고 있는 응력.
- (33) 측벽부(Wall) : 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간.
- (34) 콘크리트라이닝 : 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근 콘크리트의 터널부재.
- (35) 토피 : 터널 천장으로부터 지표까지의 연직두께를 말한다.
- (36) 팽창성 지반 : 터널굴착 시 팽창으로 인하여 문제를 일으키기 쉬운 지반으로써, 제3기층의 열수 변질을 받은 화산분출물, 팽창성 이암 및 온천 여토 등.
- (37) 편압 : 터널 좌우 또는 전후 방향으로 불균등하게 작용하는 지반압력을 말한다.
- (38) 표준지보패턴 : 지반의 등급에 따라 미리 표준화한 지보패턴을 말한다.
- (39) 허용편차 : 변형 여유량에 시공상 피할 수 없는 오차를 합한 값을 말한다.
- (40) 환기설비 : 터널 내 공기질을 유지하기 위하여 신선공기를 급기하거나 오염공기를 배출하기 위한 설비.
- (41) Q-System : 바톤(Barton) 등이 제안한 정량적인 암반분류의 하나이며 RQD, 절리군수, 불연속면 거칠기, 불연속면 변화정도, 지하수에 의한 감소계수, 응력감소계수 등을 반영하여 암반을 분류하는 방법.
- (42) RMR(Rock Mass Rating) 분류 : 비에니아스키(Bieniawski)가 제안한 정량적인 암반 분류방법이며 암석강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 불연



속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 방법.

- (43) TBM(Tunnel Boring Machine) : 소규모 굴착장비나 발파방법에 의하지 않고 굴착에서 버력처리까지 기계화·시스템화 되어 있는 대규모 굴착기계를 말하며, 일반적으로 Open TBM과 쉘드TBM으로 구분.

2. 계획

2.1 적용범위

- (1) 이 코드는 지반을 개착하지 않고 굴착(Mined)하여 시공하는 철도터널공사의 계획, 설계에 대한 기준이다. 단, 개착식터널은 「KR C-12140 개착터널」의 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.

2.2 계획일반

- (1) 터널계획은 지역여건, 지형상태, 토지이용 현황 및 장래전망, 지반조건 등 사전조사 결과를 기초로 하여 계획해야 한다.
- (2) 터널계획은 철도터널의 건설 목적과 기능의 적합성, 공사의 안전성과 시공성, 공법의 적용성을 우선하여 수립하되 건설비와 유지관리비 등을 포함하여 경제성이 있도록 해야 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 수립해야 한다.
- (4) 터널의 내공단면의 크기는 단선터널과 복선터널 또는 대단면터널로 구분하고 터널의 기능과 목적에 따라 계획해야 한다.
- (5) 터널계획은 터널길이에 따라 1,000m 미만은 짧은터널, 1,000m~5,000m는 장대터널, 5,000m 이상은 초장대터널로 구분하여 계획해야 한다.
- (6) 터널의 구조와 형상은 사용목적, 지형, 지반, 시공법 및 하중조건 등을 고려하여 결정해야 한다.
- (7) 터널계획 시 운영 중 유지관리도 고려해야 한다.

2.3 터널의 기본계획

- (1) 평면선형 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.
 - ① 터널노선은 가능한 한 지반조건과 시공성이 양호하고 유지관리가 용이하며 주변환경에 미치는 영향이 적은 곳을 통과하도록 결정해야 한다. 특히 편압이 예상되는 비탈면과 습곡지역, 애추(Talus) 분포지역, 용출수나 지표수가 많을 것으로 판단되거

- 나 조사된 지역,안정성이 우려되는 단층 및 파쇄대지역 등은 피하여 계획하되 현장 조건에 따라 변경할 수 있다.
- ② 터널의 갱구위치는 안정된 지반으로 지형조건이 좋은 위치에 선정하도록 하며 토지 이용현황과 토피 등을 감안하고 시공성을 우선하여 결정하되 비탈면에 직교하도록 선정하며현장조건에 따라 변경할 수 있다.
 - ③ 터널을 2개 이상 병렬 또는 인접하여 계획하는 경우에는 터널의 단면 크기, 굴착대상 지반의 공학적 특성, 발파진동 영향, 터널 전·후 구간의 용지보상 규모, 지장물 및 민원물건 등을 감안하여 터널 굴착공사로 인한 주변 지반거동 및 발파진동이 인접 터널에 나쁜영향을 미치지 않도록 상호 이격시켜야 한다. 터널 간 이격거리를 줄여야 할 경우에는 안정성을 확보할 수 있도록 굴착방법, 굴착공법 및 보강공법 등 적절한 대책을 수립해야 한다.
 - ④ 계획된 터널이 지상구조물, 지하구조물, 터널 등 기존 시설물에 근접하여 통과하는 경우에는 기존 시설물의 중요도 및 구조적인 특성에 따라 터널 굴착공사로 인한 상호 영향을 검토해야 하며 장래 지상 및 지하개발 계획을 감안하여 필요 시 방호공 등의 사전대책을수립해야 한다.
 - ⑤ 선형계획 시 제반 제약조건으로 인해 편압이 작용하는 곳에 갱구를 설치하거나 갱구주변 지반에서 비탈면 활동, 낙석, 토석류, 홍수, 눈사태 등이 예상되는 경우에는 갱문의 구조선정에 유의하고 방호설비 등을 검토해야 한다.
 - ⑥ 터널의 부속시설인 환기터널, 피난터널, 장대터널에서 작업터널, 사토장, 진입로 및 기타 터널외부설비 등의 입지조건을 검토해야 한다.
 - ⑦ 환경친화적인 터널계획을 위해서 보전가치가 있는 지형 및 지질유산의 보전과 대규모지형 변화를 가져오는 깎기와 쌓기가 최소화되도록 평면선형 및 종단선형을 계획해야 한다.
 - ⑧ 선형계획 시에는 부대설비와 공사용 설비의 설치도 고려해야 한다.
 - ⑨ 조사결과에 따라 여러 노선을 선정하여 비교검토 후 예정노선을 결정하고 예정노선에대해 지형도를 작성하고 터널 예정위치를 상세히 검토해야 한다.
- (2) 종단선형 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.
- ① 터널의 기울기는 자연배수가 가능하도록 3‰이상으로 계획하고, 설계속도에 따라 철도건설규칙에 규정된 설계속도에서 정하는 기울기 이하가 되도록 계획해야 한다.
 - ② 계획기울기는 터널입구에서 진행방향으로 가능한 한 오르막기울기가 되도록 하여 자연배수가 원활히 이루어지도록 하는 것을 원칙으로 하되, 현장조건과 터널의 목적이나 시공계획, 환기계획 등의 조건상 터널중앙부가 입구부보다 낮은 내리막기울기가 불가피할 경우에는 배수설비를 계획해야 한다.
 - ③ 종단계획에 따른 터널의 최소 토피는 터널의 구조적 안전영역의 범위가 확보되도록 지표와 지하구조물의 현황, 지반조건, 시공방법 및 굴착단면의 크기 등을 고려하여



결정해야 하며, 최소 토피에는 장래 예상되는 토지이용 한계심도를 반영해야 한다.

(3) 내공단면 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

- ① 내공단면은 터널목적 및 기능에 따른 건축한계(시설한계)와 평면선형이 곡선인 구간은 캔트에 의한 차량경사량과 슬랙량을 더하여 확대하고 측량(궤도)중심으로부터 구축중심이격거리를 설정하고, 터널 내 신호, 통신 등 설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유폭, 보도 등을 고려하여 정하며 시공 중 터널변형 등 시공오차에 대한 여유를 예상하여 결정해야 한다.
- ② 건축한계(시설한계)는 「KR C-02030 3.3항」을 따른다.
- ③ 터널의 내공단면 계획 시에는 지형, 지반조건 및 토피정도에 따라 2개 이상의 소 · 중단면병렬터널이나 1개의 대단면 터널 또는 특수단면터널의 채택 여부를 검토하여 안정성, 시공성 및 경제성을 확보해야 한다.
- ④ 정거장 전후구간 또는 지하터널식 정거장일 경우의 터널은 단선, 복선 또는 대단면 터널을 조합하여 기능과 목적에 부합하도록 종합적인 검토를 하여 안정성, 시공성, 경제성 및 유지관리성 등을 고려하여 계획해야 한다.
- ⑤ 지반조건이 열악하고 주변여건상 터널시공이 장래 문제를 유발할 가능성이 있는 지역인 경우나 터널길이가 내공단면의 크기를 결정하는 데 주요 인자로 적용되는 경우에는 가급적 중 · 소단면 병렬터널을 계획해야 한다.
- ⑥ 터널의 굴착단면 계획은 내공단면을 기준으로 하여 지보재의 총두께, 콘크리트라이닝의 두께 및 허용편차를 고려하되, 구조적으로 유리한 형상으로 결정해야 한다.
- ⑦ 동일 작업구간내의 터널 내공단면은 가급적 동일한 규격 및 형상으로 표준화하여 시공성을 높일 수 있도록 계획해야 한다.
- ⑧ 내공단면 계획 시에는 열차의 고속주행에 의하여 터널 내에 발생하는 공기저항 및 공기압 변화와 차량 밀폐도, 승차감 및 미기압과의 영향등을 고려해야 한다.
- ⑨ 특히, 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.

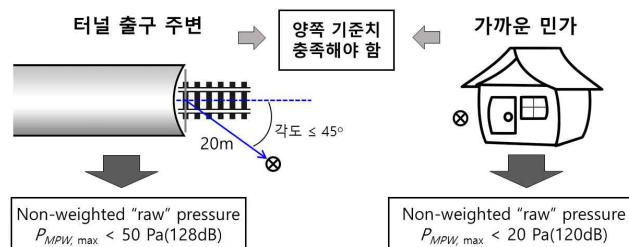


그림 3. 터널 미기압과 관리기준치

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 안 된다.

- ⑩ 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 않도록 계획하여야 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

- ⑪ 터널 동결이 우려되는 구간에는 최저 외기온도, 평균 유입풍속, 동결지수 등을 고려하여 동결방지대책을 반영한다.

(4) 터널길이에 따른 단면계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

- ① 본선터널의 길이가 15km 이상인 터널에서 방재 요구조건이 미흡하다고 판단되는 경우에는 해당 터널특성에 적합한 별도의 대책을 수립해야 한다.
- ② 장대터널과 초장대터널에서는 열차가 비교적 오랜 시간 터널 내부에서 운행되므로 이에 따른 열차 내 승객의 쾌적성, 안전성, 비상시 대피 및 터널의 유지보수 등을 검토하고 취약한 부분의 성능이 개선될 수 있도록 관련 구조물이나 설비를 설계에 반영해야 한다.
- ③ 장대터널과 초장대터널에서는 시공방법, 버력반출, 사토장, 공사용 설비, 환기탑의 설치 등을 고려하여 작업구의 위치를 결정함으로써 경제적이고 공기에 맞는 시공계획을 수립해야 한다.

(5) 부속설비 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

- ① 터널의 부속설비는 운영 시의 유지관리용 영구설비와 공사 중 시공을 위한 임시설비로 구분하여 계획해야 한다.
- ② 부속설비의 계획에는 기능의 부합성과 함께 경제성 및 유지관리성을 종합적으로 검토하여 수립해야 한다.
- ③ 일반적인 영구설비에는 환기설비, 전기설비, 급·배수설비, 방재설비, 신호·통신 및 조명설비, 보안설비, 점검설비, 대피설비 등이 있으며 터널의 목적과 기능에 따라 설비종류 및 규모를 결정해야 한다.
- ④ 공사용 임시설비에는 자재저장 시설, 자재반입 및 버력처리설비, 급수 및 배수설비, 오수 및 폐수 정화설비, 환기 및 수전설비, 전기설비, 방음 및 방진설비, 슛크리트



배합 및 타설설비, 가설 건물설비, 비상급기 설비 등이 있으며 설비의 종류와 규모 결정은 공사규모와 공법, 공사기간, 현장여건 등을 고려해야 한다.

(6) 계측 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

- ① 터널의 계측관리 계획은 터널굴착에 따른 지반의 거동과 각 지보재의 효과를 파악하고 공사의 안정성과 경제성을 확보해야 하는 공사 중 계측과 터널 준공 후 운영 중의 안전을 확보하기 위하여 시행되는 유지관리 계측으로 구분하여 수립해야 한다.
- ② 공사 중 계측계획 수립 시에는 터널의 기능과 중요도 및 지반조건에 적합하도록 계측의 항목 및 설치위치, 측정빈도 등을 계획해야 한다.
- ③ 운영 중 시행하는 유지관리계측은 터널의 기능과 중요도에 따라 계측의 목적을 정하고, 목적에 적합한 계측계획을 별도로 수립하며, 가능한 한 시공 중 계측계획과 연계하여 관리될 수 있도록 계획해야 한다.

(7) 터널 갱구부와 작업구의 계획 시에는 우수유입으로 인한 침수피해가 발생되지 않도록 하며 유사시에 대비한 배수대책을 세워야 한다.

(8) 방수형식 계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

- ① 방수형식은 터널 전체 주위 벽면 중 일부분에 지하수의 배수경로를 만들어 지속적으로 지하수를 배수하여 콘크리트라이닝에 수압이 작용하지 않도록 하는 배수형 방수형식과 터널 전체 주위 벽면에 방수재를 설치하여 지하수가 터널내부로 유입되는 것을 차단하여 콘크리트라이닝이 수압을 받도록 하는 비배수형 방수형식으로 구분한다.
- ② 방수형식은 지형, 지상 토지이용 현황, 토피정도, 지하수의 특성과 수위, 주변지반 상태 등 현장 지반조건과 터널형상 및 규모 등의 조건을 감안하여 시공성, 경제성 및 유지관리성 등을 종합 검토한 후 결정해야 한다.
- ③ 비배수형 터널에는 시공 특성에 부합되는 방수형식 및 재료를 선정하고 작용수압에 안전하게 견딜 수 있는 콘크리트라이닝을 계획해야 하며 유사시 또는 과도한 누수에 대비하여 적정 용량의 배수시설을 설치하는 것을 검토해야 한다.
- ④ 배수형 방수형식의 터널에는 원활한 배수계통과 배수단면을 확보해야 하며 유지관리상 배수계통의 기능 확인과 보수가 용이하도록 계획해야 한다.

(9) 환기계획 시에는 다음 사항을 고려하여 계획해야 한다.

- ① 터널의 환기설비는 터널 내 오염물질의 농도가 허용수준이하로 유지될 수 있도록 터널길이와 열차용량 등 시설물의 목적에 적합한 형식으로 계획하여 필요로 하는 기능을 발휘할 수 있도록 해야 한다.
- ② 터널의 환기계획은 기관차, 기상, 환경, 지형, 지물 및 관련 법규를 바탕으로 소요환기량을 산정하여 자연환기와 기계환기 중 적합한 방법을 선정해야 한다.
- ③ 기계환기 선정 시에는 구조설계, 배치 및 환기장소를 고려하여 설비제원을 결정해야 한다.

- ④ 환기설비는 화재 등 비상 시 안전 확보를 위한 배연이나 제연시설로 운용되므로 환기방식의 선정은 비상시 안정성을 고려하여 검토되어야 한다.
- (10) TBM터널 및 연직갱, 경사갱, 분기부, 확폭부 등의 계획에 대해서는 해당 공중에서 정하는 바를 따라야 한다.
- (11) 방재시설은 사고 시 피해의 확산을 제어하고 인명피해를 최소화 시킬수 있도록 국토교통부 「철도시설의 기술기준」에 따라 계획해야한다.
- (12) 터널계획 단계에서는 재난을 유발할 수 있는 주요 위험요인을 파악하여 근본원인을 제거해야 하며, 제거가 불가능한 경우에는 재난발생 시 피해를 최소화할 수 있는 방재설비를 계획해야 한다.

3. 설계일반

3.1 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 터널 주변의 다양한 응력변화와 영향요인을 고려하여 지보 및 굴착계획을 수립하여야 한다.
- (11) 콘크리트라이닝의 안정성을 확보하기 위하여 필요한 콘크리트라이닝 기초 폭을 확보하도록 터널단면을 계획하여야 한다.

3.2 설계방법의 선정

- (1) 설계방법 선정은 지반의 거동특성과 지보재의 지보력이 상호 연합하여 일체가 되게 거동하여 터널의 안정성이 유지될 수 있는 방법을 선정해야 한다. 다만, 지반의 거동 특성상 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.

3.3 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 표시품」이라 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) 시공 시의 제반여건이 설계당시의 조건과 상이할 수 있는 문제점에 대한 대책을 제시해야 하며 「KR C-12020」의 <표 1>의 사항을 포함한다.



해설 1. 계획일반

- (1) 터널은 독립적인 선형구조물 형식이 되지만 선형 계획 시에는 노선 전체의 관점에서 기술적, 경제적인 검토를 실시해야 한다. 대부분 절취할 것인가, 아니면 터널로 계획할 것인가가 주된 결정 사안이 되므로 경제성과 환경보호 등을 감안하여 가능한 한 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 계획해야 한다.
특히 보조공법 선정 시에는 터널의 굴착공법을 감안하여야 하고 경제성과 효과가 입증되는 지를 검토하여 결정해야 한다. 전체적인 계획에 있어서는 장기적인 유지관리 상의 문제를 유발하는 요인이 발생하지 않도록 계획해야 한다. 아울러 비상사태 발생시에 대비한 신속한 대피와 복구가 가능한 계획이 되도록 해야 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 검토해야 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 배려해야 한다.
- (4) 터널의 위치는 불안정한 지형이나 이미 재해가 발생한 곳은 가급적 피해야 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 피해야 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 실시해야 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 검토해야 한다.

터널은 길이에 따라 방재시설 등을 달리해야 할 필요가 있으므로 1,000m 미만은 짧은 터널, 1,000m~5,000m은 장대터널, 5,000m 이상은 초장대터널로 구분하여 계획해야 한다.

터널의 단면은 단선터널과 복선터널을 구분하여 계획하고 복선터널일 경우는 지형 및 지반조건, 토피 정도에 따라 단선병렬터널이나 복선터널의 채택여부를 검토하여 안정성, 시공성 및 경제성을 고려하여 계획해야 한다.

그러나 연장이 15km 이상의 터널은 재해대책을 고려하여 구조, 대피소 및 재난예방을 위한 구난역을 설치하도록 계획해야 한다.

- (6) 터널 단면 영역 정의와 단면적의 계산은 다음 그림 4와 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.

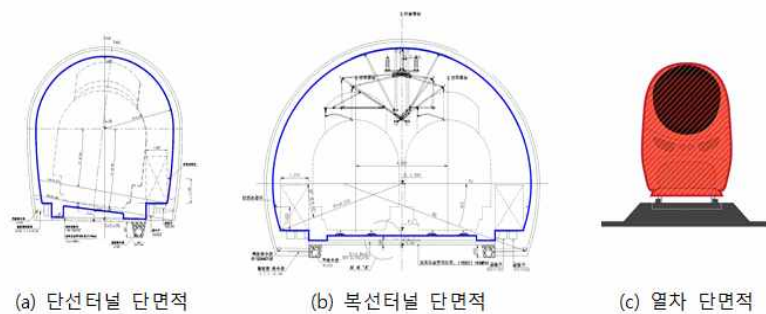


그림 4. 터널 내공단면적과 열차 단면적의 계산영역 정의



해설 2. 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 결정해야 한다. 위치 선정에 특히 주의해야 할 점은 터널의 갱구위치에 산사태나 지반의 미끄러짐, 붕괴의 위험성, 눈사태 등이 발생하였거나 예상되는 지점을 피해야 한다. <표 1>은 위치 선정에 특히 유의해야 할 지반조건을 나타낸 것이다.
- (2) 터널의 위치는 지형 및 토지 이용현황, 지반조건, 토피 등을 감안, 시공성을 우선하여 결정하되 편압 및 비탈면활동의 영향이 적은 지반에 가급적 자연비탈면의 경사각에 직교되도록 선정해야 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 계획해야 한다. 곡선으로 계획되는 경우는 선로등급에 따른 최소 곡선반경 이상으로 계획해야 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 수립해야 한다. 터널의 부속시설인 환기구, 피난갱과 장대터널에서의 작업구 및 터널외부설비, 사토장 등의 입지조건도 선형계획 시 검토해야 한다.

표 1. 선형계획 시 특히 주의해야 할 지반조건

특히 주의 해야 할 지반	주된 압반조건	문제되는 현상
팽창성 지반	<ul style="list-style-type: none"> 강도가 낮은 이암 단층부의 점토, 파쇄대 원지반강도비가 작은 지반 	<ul style="list-style-type: none"> 예상치 않은 지반압 발생 장기간의 변형이나 토압증가
함수미 고결지반	<ul style="list-style-type: none"> 지하수면하의 제3기말부터 제4기에 형성된 지반 암석 풍화대 파쇄대 	<ul style="list-style-type: none"> 용출수에 따른 지반의 유출 지반의 연약화에 의한 지보재의 지지력 약화 대량의 용출수, 수압의 작용 지하수위 저하로 지표·지하수원 고갈
갱구부근 에서 산사태나 붕괴가능성 이 있는 지반	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 편암의 작용 지보나 라이닝의 변형 지보재의 침하 산사태, 붕괴 과도한 용출수
활단층	<ul style="list-style-type: none"> 파쇄대 	<ul style="list-style-type: none"> 피할 수 없는 지반변위 발생 편암의 작용

(5) 터널의 갱구위치는 가능한 한 접근이 용이한 지역에 위치하도록 계획하되 토지이용 현황, 토피 등을 감안하여 편압 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 주의해야 한다. 특히, 붕적층이 깊게 환경사로 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 해야 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 근접해야 할 경우나 연약한 지반인 경우에는 상호간에 미칠 영향에 대해 충분히 조사, 검토한 뒤에 시공법이나 계층 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 검토해야 한다. 이때는 철도건설규칙에 규정된 선로중심간격을 고려하여 계획해야 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 고려해야 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 검토해야 한다.

<표 2>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 2. 병행터널의 근접도 구분

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

주1) D : 신설터널 외경

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

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

주3) 발파진동에 대하여는 별도 검토를 해야 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 3>에 터널이 교차하는 경우의 근접도를 나타내었다,

표 3. 교차터널 근접도 구분

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

주1) D : 신설터널 외경

주2) 위 기준은 보통암 정도를 기준으로 한 것으로 암질에 따라 보정해야 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 부설시 | +20% |

주3) 발파진동에 관한 것은 별도 검토를 해야 한다.



- (7) 터널 내에 정거장이 계획될 경우에는 철도건설규칙에 규정된 내용에 따라 설계해야 한다.
- (8) 설계도서에 궤도 중심과 구조물 중심의 관계를 명확히 표현하여 시공시 혼선이 없도록 조치해야 한다.

1.2 종단선형 계획

- (1) 터널의 기울기는 자연배수가 가능하도록, 가급적 완만하게 계획하되 철도건설규칙에 규정된 선로의 등급별로 정해진 기울기 이하가 되도록 계획해야 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 해야한다.
- (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 계획해야 한다. 장대터널에서 배수보다 환기기능을 우선적으로 고려할 필요가 있는 경우에는 반대로 하향기울기를 채택할 수 있으나 이 경우에는 공사 중 별도의 배수설비를 계획해야 한다. 또한 선형 조건상 터널의 입구와 출구가 중앙부 보다높은 종단 선형으로 계획된 경우에는 장래 유지관리를 고려한 배수설비를 계획해야 한다.
- (3) 종단계획에 따른 터널의 최소 토피는 터널의 구조적 안전영역의 범위가 확보되도록 결정하여야 하며, 최소 토피는 장래 예상되는 토지이용 한계심도를 고려해야 한다.
- (4) 터널 내에 정거장이 계획될 경우에는 승객의 편의를 고려하여 역사의 깊이를 결정해야 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 결정해야 한다. 단면 결정에 필요한 건축한계 및 곡선구간의 확폭량에 대한 사항은 철도건설규칙에 정하는 바를 따르며, 이를 만족시키는 것을 전제로 열차 폭원, 보도폭 등을 고려하여 정해야 한다. 내공단면을 결정하는 순서는 <그림5>와 같다.

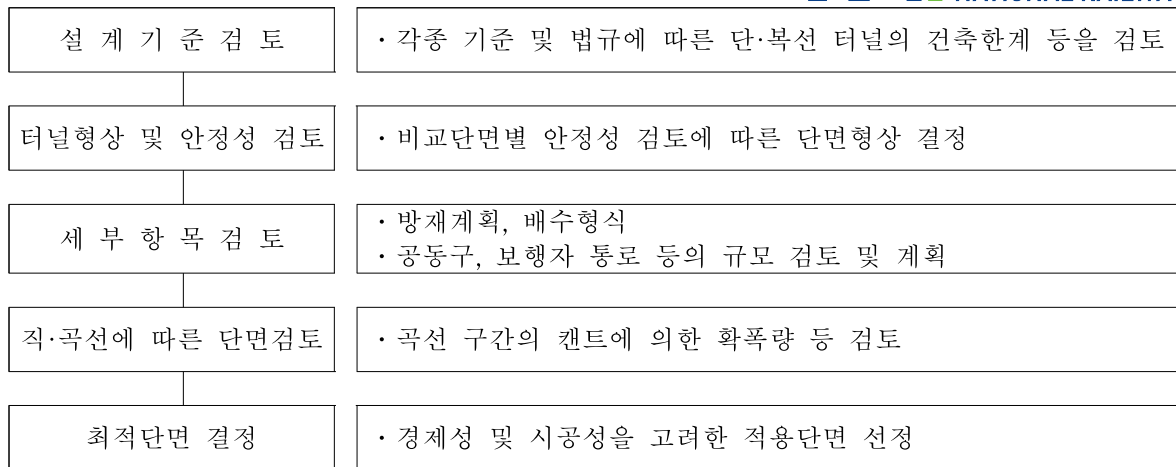


그림 5. 내공단면 결정 순서

(2) 내공단면의 크기는 단선터널과 복선터널을 구분하여 계획하고 복선터널일 경우는 지형 및 지반조건, 터널의 길이 등에 따른 조건을 검토하여 단선병렬터널이나 복선터널로의 채택여부를 검토하여 안정성, 시공성 및 경제성을 확보해야 한다. 정거장 전후구간 또는 터널 내에 정거장이 위치하여 터널단면이 커져야 할 경우에는 터널의 기능과 목적에 부합하도록 단면의 형태 및 크기에 대한 사항을 종합적으로 검토하여 계획해야 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 등이 승객과 터널 주변 민가에 미치는 영향은 허용기준 이하가 되도록 계획하여야 한다.**

- 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 **진파되며, 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 **공기압파**는 터널내를 왕복운동하면서 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)**, 터널 내 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 4. 한국의 연중 평균 기상조건(기상청 1991-2020 통계자료)

구 분	연중 평균값
대기압	101,640Pa
주변 상대습도	68.4%
주변 온도	12.8℃
터널 온도	14.8℃

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

표 5. 터널 미기압과 영향평가를 위한 3단계 평가절차

단계	방법
터널 진입 시 압축과 생성	운행차량과 터널입구 갱문의 3차원 형태를 반영하여, 터널 입구로부터 내부 100m 또는 200m 지점에서 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 가능한 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 미기압파의 음압강도(Pa) 평가 1) 터널 출구 외부 20m 위치 2) 주거지 또는 학교나 병원, 축사 등의 특정 위치에서 음압강도 평가

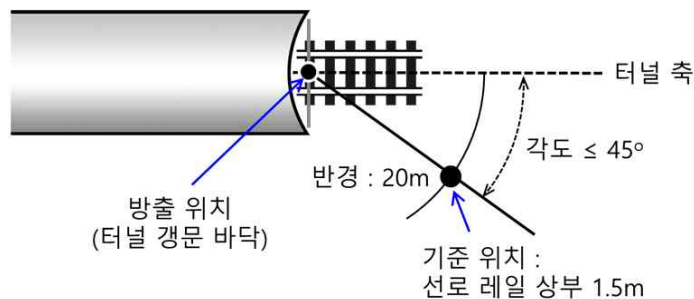


그림 6. 미기압과 영향평가 기준 위치

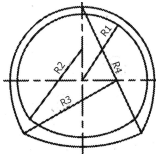
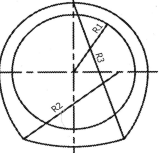
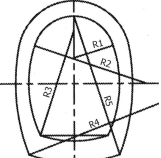
- ⑨ 미기압과 영향 평가를 위한 기준 위치는 그림 6과 같이 터널출구 수직면에서 20m 거리, 터널 축에서 45도 각도와 선로 레일 상부 1.5m의 지점으로 정의한다. 터널갱문이 경사지터라도(경사갱문 또는 벨-마우스 갱문) 그림 6의 터널출구 수직면 방출 위치는 변동하지 않는다.
- ⑩ 미기압과 영향 평가 시 적용된 전산해석(또는 S/W)의 건전성을 입증하기 위해서, 평가절차 단계별로 전산해석 입력값으로 적용한 열차의 터널진입 설계속도, 열차 편성길이, 터널 길이, 터널 입구의 경사갱문 각도, 열차 유효단면적, 터널 내공단면적, 터널 벽면의 마찰계수, 터널 출구에서의 방사 입체각 Ω 등을 제시하여야 한다.
- (4) 터널의 단면은 응력, 변형 등에 대하여 구조적으로 안정하고 경제적인 형상이 되도록 해야 한다. 일반적으로는 3심 혹은 5심원으로 이루어지는 마제형이나 난형으로 계획되고 있으나, 역학적으로는 원형에 가까운 것이 좋다. 터널의 단면형상에 따른 특성은 <표 6>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 검토해야 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.

표 6. 터널의 단면 형상 비교

구분 형상	단 면	장 점	단 점
난형		<ul style="list-style-type: none"> 구조적으로 안정 양수압에 안정 원형보다 굴착량이 적어 경제적 	<ul style="list-style-type: none"> 마제형보다 굴착량이 크므로 다소 비경제적
원형		<ul style="list-style-type: none"> 구조적으로 가장 안정 양수압에 안정 	<ul style="list-style-type: none"> 굴착시공이 공법에 따라 난이 굴착량이 크므로 비경제적
마제형		<ul style="list-style-type: none"> 굴착 시공성 양호 여굴량이 적어 경제적 	<ul style="list-style-type: none"> 원형보다 구조적으로 다소 불안정 양수압에 불안정

- (5) 일반적으로 정수압응력장($K_0=1.0$)에서는 원형단면이 가장 이상적인 형상이며 정수압 응력장이 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 7> 참조).

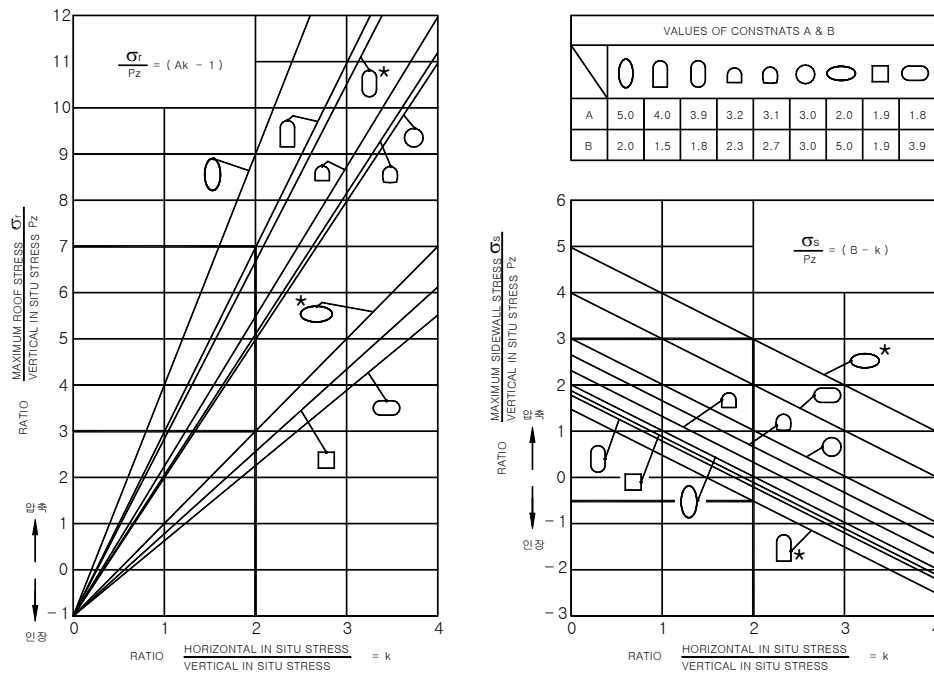


그림 7. 터널형상과 축압계수의 상관성에 따른 터널주변의 응력집중

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

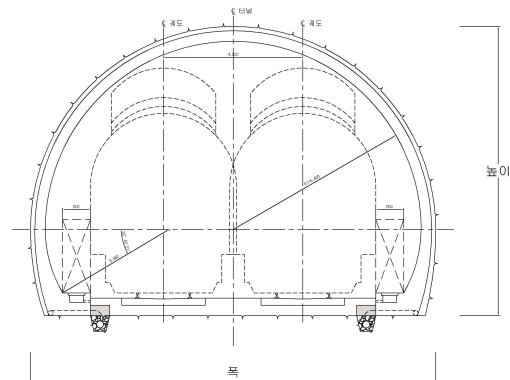
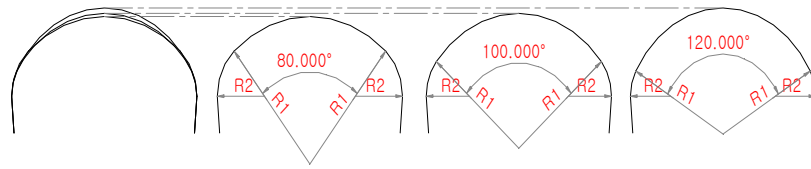


그림 8. 터널형상과 편평률의 정의

이러한 정의에 따라 편평율이 작아질수록 건축한계 상부의 여유 공간이 감소하여 굴착량을 줄일 수 있다. 그러나 편평율이 작아질수록 역학적으로 불안정한 단면이 되므로 단면설계시에는 건축한계 외측의 불필요한 공간을 최소화하며 동시에 안정성을 확보 할 수 있는 단면선정이 요구된다. 편평율을 조절하는 방법으로 중심각을 조정하는 방법과 R2/R1의 비율로 조정하는 방법이 있으며 터널의 폭과 R1을 고정할 경우에는 중심각과 R2/R1이 감소할수록 편평율은 감소하게 된다.



- $R2/R1 = 0.4$



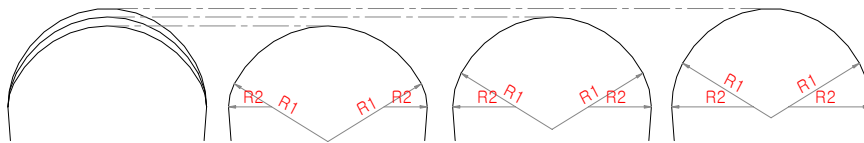
- 중심각 = 80 degree
- 편평율 = 0.688

- 중심각 = 100 degree
- 편평율 = 0.715

- 중심각 = 120 degree
- 편평율 = 0.761

그림 9. 중심각 변화에 따른 편평율 변화

- 중심각 : 120 degree



- $R2/R1 = 0.4$
- 편평율 = 0.761

- $R2/R1 = 0.6$
- 편평율 = 0.845

- $R2/R1 = 0.8$
- 편평율 = 0.925

그림 10. $R2/R1$ 비의 변화에 따른 편평율 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 계획해야 한다.

(9) 철도터널의 내공단면은 철도건설규칙에 제시된 건축한계 뿐만 아니라 열차대피, 유지 보수 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 검토해야 한다.

(11) 동결이 우려되는 구간에는 터널 동결방지대책을 마련하여 열차운행 및 시설물 안정성에 저해되지 않도록 한다.

3. 방수 및 배수계획

3.1 방수계획

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

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

또한 배수시설의 용량은 터널내로 유입되는 유수, 화재시의 소화용수 및 측벽 유입수 등을 고려하여 결정해야 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 해야 한다. 배수계획은 터널의 입지조건, 용출수량, 종단경사, 폐합형 콘크리트라이닝의 유무 등을 충분히 고려하여 배수시설의 구조, 단면의 크기 및 위치 등을 결정해야 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 신



속히 배수하여 굴착면이 지하수에 의해 연화되지 않도록 해야 한다. 시공 중 유입수량을 측정한 후 예상했던 유입수량과 비교하여 배수시설의 규모를 재조정해야 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 불가능한 경우에는 지자체 하수도 사용조례에 의거하여 오폐수처리 기간 동안의 하수도 사용료를 설계에 반영해야 하며 인근 하천에 직접 방류가 가능한 경우에는 별도 하수관로 부설비용과 하수도 사용료를 비교 평가하여 경제적인 것으로 설계에 반영해야 한다.

4. 부속설비 계획

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

터널의 부속설비는 운영시의 유지관리용 영구설비와 공사 중 시공을 위한 임시설비로 구분하여 계획해야 한다. 부속설비 계획에는 기능의 부합성과 함께 경제성 및 유지관리성을 종합적으로 검토하여 수립해야 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 결정해야 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 결정해야 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 유지해야 한다.

지관리용 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 선정해야 한다.

기계환기 선정 시에는 구조설계, 배치 및 환기장소를 고려하여 설비제원을 결정하여야 하며 환기시설은 화재발생 시 배연시설로서 운용되어야 하므로 환기방법 선정 시에 비상시 안정성을 검토해야 한다.

6. 계측계획

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

(1) 시공 중

공사 중 계측계획 수립 시는 계측의 목적, 문제점 및 계측항목의 선정과 위치, 측정빈도 등을 터널의 기능과 중요도에 따라 적합한 계측계획을 수립해야 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 계획해야 한다.

7. 환경측면의 계획

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

또한 갱구 부근은 공사 후 가능한 원지반 상태로 복원이 될 수 있도록 계획해야 한다. 공사 중에는 갱내에서의 작업환경을 양호한 상태로 유지해야할 뿐만 아니라 공사 중 발생하는 폐수 등이 주변지역을 오염시키지 않도록 적합한 설비를 계획하여 처리하도록 해야 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 계획해야 한다.

해설 3. 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 적절한 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 해야 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 해야 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 선정해야 한다. 이 경우 지반의 거동 특성상 지보능력 활용이 불가능할 경우에는 지반보강을 실시하거나 지보재로 하여금 지반을 모두 지지하도록 하는 방법을 채택할 수 있다. 경우에 따라서는 쉴드, 메서쉴드, 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 참조해야 한다. 설계 당시의 유사조건 실적적용 기준이 되는 것은 조사된 지반조건의 분류가 된다.

- (3) 지반의 등급이 분류되면 해당 지반 등급에 적용할 표준적인 지보패턴과 굴착방법을 정해야 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 섬유보강이 없는 일반 숏크리트의 두께를 정하고자 할 경우에는 섬유보강 유무에 따른 숏크리트의 특성을 감안하여 그 두께를 결정해야 한다.
- (4) 일단 지보패턴 및 굴착방법과 순서가 선정되면 이에 대한 적합성을 해석적인 방법으로 검증해야 한다. 이 때 주의하여야 하는 중요사항으로 해석적인 검증과정에는 경계조건, 적용 입력치, 해석기법상의 제한이 있으므로 해석결과에 너무 집착하여 설계를 확정하지 않도록 해야 한다는 것이다. 터널설계에서는 교과서적이 아닌 실제적인 경험 기술이 중요한 요소가 됨을 잊어서는 안된다.
- (5) 터널설계에는 불확실한 제반요소가 많이 있다는 점을 간과해서는 안된다. 따라서 다소 보수적이면서도 경제성을 추구하는 지보패턴을 채택하되 동일한 지반조건에 대해서도 시공순서에 따라 지보패턴의 적합성이 달라질 수 있음을 주지해야 한다.

2.2 터널설계의 목표

터널의 설계에서는 조사결과를 바탕으로 다음 사항들을 추구하도록 해야 한다.

- (1) 안정성 : 시공시는 물론이고 완공후에도 터널의 수명기간동안 안정한 구조물로서 기능을 발휘할 수 있도록 설계해야 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 평가해야 한다. 즉, 제공될 수 있는 기술력으로 수행이 가능한 설계가 되도록 해야 한다.
- (3) 경제성 : 불확실한 설계일수록 비경제성을 내포하기 쉬우므로 현장의 실제 지반조건과 예측결과를 적극 활용하도록 함으로써 경제성을 도모할 수 있도록 설계해야 한다. 특히 과도한 경쟁에 의한 비경제적인 설계가 되지 않도록 주의해야 한다.
- (4) 내구성 : 주변의 환경 등을 면밀히 분석하여 터널의 수명기간동안 구조물의 내구성이 유지되도록 해야 한다. 이 경우에는 지하수 영향 등도 고려해야 한다.
- (5) 유지관리의 효율성 : 터널의 구조물은 구조물 수명기간동안 유지관리가 쉬운 구조물이 되도록 설계해야 한다. 배수형 터널의 경우에는 장기간 동안에도 배수계통의 기능이 유지될 수 있도록 설계해야 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 터널주변의 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 선정해야 한다. 특히 원지반의 지보력이 손상되거나 여굴이 발생할 경우에는 그 대책을 제시해야 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 설계해야 한다.
- (3) NATM 개념의 터널공법으로 터널을 구축하게 되면 터널 주변의 지반을 보호해 주도록 해야 한다. 이 경우에 대한 특별시방을 작성하는 것이 바람직하며 터널굴착이 주변시설물에 미치는 영향도 철저히 분석하여 이에 대한 합리적인 대안을 제시해야 한다.
- (4) 터널설계에는 공사 중은 물론 운용시에 대한 환기, 조명, 방재시설 등도 고려하여 이들의 역할이 잘 발휘될 수 있도록 설계해야 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(종방향 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 감안해야 한다.
- (3) 설계에는 시공시의 제반여건이 설계당시의 조건과 상이함으로부터 비롯될 수 있는 문제점에 대한 조치사항을 제시하여야 하며 다음 <표 7>의 사항을 포함해야 한다.



표 7. 설계내용의 변경사항

주요항목	주요내용
지반의 재분류	<ul style="list-style-type: none"> · 적용지반의 분류
설계단면의 변경	<ul style="list-style-type: none"> · 지보재 · 변형 여유량 · 단면형상
적용지보패턴의 변경	<ul style="list-style-type: none"> · 슛크리트 두께 · 슛크리트의 재질 · 록볼트의 길이, 본수 · 강지보재 설치간격 및 규격
굴착방법의 변경	<ul style="list-style-type: none"> · 벤치컷 공법(코어(Core)남김,링컷 포함) · 선진도갱공법 · 기타 굴착단면 분할
보조공법 도입	<ul style="list-style-type: none"> · 굴진면 안정화 대책 · 지반보강 대책 · 용출수 대책 · 지표면 침하 대책 · 근접 구조물 대책
단면의 폐합	<ul style="list-style-type: none"> · 인버트 콘크리트 타설(조기 시공) · 인버트 슛크리트 타설(가폐합) · 콘크리트 라이닝 강성 증대 · 이중 라이닝(임시 라이닝)
터널공법 변경	<ul style="list-style-type: none"> · 개착터널 공법으로 전환 · 토공구간으로 전환
기타	<ul style="list-style-type: none"> · 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('17.03.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(관련 법령, 기준 수정)을 반영
- Rev.2('17.07.03) “국가경쟁력 강화를 위한 철도건설기준 선진화 연구결과 반영요청(기술연구처-573호, '17.2.10)에 따른 개정(설계기준처-1920호)
- Rev.3('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.4('22.12.09) “고속화철도(250km/h이하) 터널 미기압과 저감 후드 기술개발” 연구결과 및 철도터널 동결발생시 피해방지 대책 반영(기준심사처-4755호, '22.12.12)