

KR C-12005

Rev.6, 13. August 2026

터널 설계 개요

2026. 08. 13



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. 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	1
2. 조사 및 계획	1
2.1 조사 및 계획 일반	1
2.2 조사	1
2.3 계획	1
3. 재료	2
3.1 재료 일반	2
3.2 재료 특성	2
3.3 품질 및 성능시험	2
4. 설계	2
4.1 설계방법의 선정	2
4.2 설계내용의 변경	2
4.3 터널 설계 일반	2
4.3.1 터널 설계 기본방향	2
4.3.2 본선티널 설계	2
4.4 연직갱 및 경사갱	3
4.4.1 연직갱 및 경사갱 설계 기본방향	3
4.4.2 연직갱의 설계	3
4.4.3 경사갱의 설계	4
4.5 갱구부	6
4.5.1 갱구부설계 기본방향	6
4.5.2 갱구부 설계	6
4.6 갱문	6
4.6.1 갱문설계 기본방향	6
4.6.2 갱문설계	6
4.7 단면확폭부 및 접속부	7
4.7.1 단면확폭부 및 접속부 설계 기본방향	7

4.7.2 단면확폭부 설계	7
4.7.3 접속부의 설계	7
4.8 침매터널	8
4.8.1 침매터널 설계 기본방향	8
4.8.2 침매터널 설계	8
해설 1. 설계일반	9
1. 설계의 기본개념	9
1.1 터널굴착과 지반거동 특성	9
1.2 지반의 지보능력을 활용한 터널공법	10
2. 설계방법의 선정 및 수행방향	10
2.1 설계 방법의 선정	10
2.2 터널설계의 목표	11
2.3 설계의 수행방향	12
3. 설계의 기본요건	12
해설 2. 연직갱, 경사갱 및 횡갱 일반사항	15
해설 3. 연직갱 설계	16
1. 단면설계	16
1.1 위치선정	16
1.2 단면 크기의 결정	16
1.3 단면 형태	16
1.4 방·배수공	17
1.5 환기탑 계획	17
2. 굴착공법 및 버력처리	18
2.1 굴착공법	18
2.2 연직갱 굴착장비	22
2.3 굴진장	25
2.4 발파공법	25
2.5 버력타설	25
3. 지보형식 계획	25
3.1 강지보재	26
3.2 슛크리트	26
3.3 록볼트	26
3.4 콘크리트라이닝	27
4. 지하수 처리공법 계획	28
5. 바닥 및 외부 설비 계획	28
5.1 설계 시 고려사항	28
5.2 배수설비 및 안전설비	29

해설 4. 경사갱 설계	31
1. 단면설계	31
1.1 단면 크기의 결정	31
1.2 경사 결정	31
2. 굴착설계	32
2.1 굴착방법	32
2.2 굴진장	32
3. 지보재 설계	32
3.1 강지보재	32
3.2 숏크리트 및 록볼트	33
3.3 콘크리트라이닝	33
4. 보조공법 계획	33
5. 터널바닥 및 터널외부설비	34
6. 시공장비 선정	34
해설 5. 횡갱 설계	35
해설 6. 갱구부 설계일반	36
1. 갱구부 정의	37
2. 갱구위치 선정	38
2.1 위치선정을 위한 지형특성 검토	38
2.2 갱구위치 선정	39
2.3 갱구부 환경 검토	40
해설 7. 갱구부 설계	41
1. 지형 및 지반조건의 고려사항	41
2. 깎기 비탈면 안정설계	41
2.1 조사	41
2.2 경험적인 갱구비탈면 설계	42
3. 갱구비탈면 안정 대책	44
4. 갱구비탈면 보강 및 보호공법	44
4.1 보강공법	44
4.2 보호공법	45
4.3 비탈면붕괴 및 낙석대책	45
5. 토류 가시설 설계	46
6. 갱구부 지보형식 선정	46
7. 갱구부 굴착공법	48
8. 보조공법의 적용	49
해설 8. 갱문 설계	51
1. 위치선정	51

2. 갱문형식 선정	52
3. 조정 설계	55
3.1 터널갱문부의 조정설계 개념	55
3.2 식생	55
해설 9. 터널단면 확대 설계	57
1. 단면 확대구간 결정	57
2. 확대구간 단면계획	59
3. 단면 확대구간 지보형식	59
4. 단면 확대구간 시공순서	60
해설 10. 접속부의 구간 설계	61
RECORD HISTORY	62

1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 기준의 목적은 철도 터널설계를 위한 관련 법규 및 기준을 제시하고 용어를 정의하며 철도 터널설계시 고려하여야 할 일반사항을 제시하는 것이다.

1.2 적용 범위

- (1) KDS 27 10 05(1.2)를 따른다.

1.3 참고 기준

- (1) KDS 27 10 05(1.3)을 따른다.

1.3.1 관련 법규

- (1) KDS 27 10 05(1.3.1)을 따른다.

1.3.2 관련 기준

- (1) KDS 27 10 05(1.3.2)를 따른다.

1.4 용어의 정의

- (1) KDS 27 10 05(1.4)를 따른다.

1.5 기호의 정의

- (1) KDS 27 10 05(1.5)를 따른다.

2. 조사 및 계획

2.1 조사 및 계획 일반

- (1) KDS 27 10 05(2.1)을 따른다.

2.2 조사

- (1) KDS 27 10 05(2.2)를 따른다.

2.3 계획

- (1) KDS 27 10 05(2.3)을 따른다.



3. 재료

3.1 재료 일반

- (1) KDS 27 10 05(3.1)을 따른다.

3.2 재료 특성

- (1) KDS 27 10 05(3.2)를 따른다.

3.3 품질 및 성능시험

- (1) KDS 27 10 05(3.3)을 따른다.

3.3 품질 및 성능시험

- (1) KDS 27 10 05(3.3)을 따른다.

4. 설계

4.1 설계방법의 선정

- (1) KDS 27 10 05(4.1)을 따른다.

4.2 설계내용의 변경

- (1) KDS 27 10 05(4.2)를 따른다.

4.3 터널 설계 일반

4.3.1 터널 설계 기본방향

- (1) KDS 27 10 05(4.3.1)을 따른다.
- (2) 도시지역을 통과하는 터널과 장래 도시계획이 수립된 지역의 터널 설계 시에는 터널 주변의 다양한 응력변화와 영향요인을 고려하여 지보 및 굴착계획을 수립하여야 한다.
- (3) 콘크리트라이닝의 안정성을 확보하기 위하여 필요한 콘크리트라이닝 기초 폭을 확보하도록 터널단면을 계획하여야 한다.

4.3.2 본선티널 설계

- (1) KDS 27 10 05(4.3.2)를 따른다.

4.4 연직갱 및 경사갱

4.4.1 연직갱 및 경사갱 설계 기본방향

- (1) KDS 27 10 05(4.4.1)을 따른다.
- (2) 연직갱의 설계는 본선타널의 보조터널로서 연직이거나 연직에 가까운 터널에 적용하여야 한다.
- (3) 경사갱의 설계는 본선타널의 보조터널로서 경사진 터널에 적용하여야 한다.
- (4) 연직갱 및 경사갱의 설계 시에는 사전에 충분한 지반조사를 실시하여 지반의 상태 및 특성을 파악하고 이를 설계에 반영하여야 한다.

4.4.2 연직갱의 설계

- (1) KDS 27 10 05(4.4.2)를 따른다.
- (2) 연직갱의 굴착 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 연직갱의 굴착공법은 전단면 하향굴착, 전단면 상향굴착, 선진도갱 확대굴착으로 구분되며 연직갱의 용도, 심도, 단면크기, 지반조건, 입지조건, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정하여야 한다.
 - ② 굴착방법으로서 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착방법도 고려할 수 있다.
 - ③ 연직갱 내 발파계획 시 지반조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 설계하여야 한다.
- (3) 연직갱 지보재 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 연직갱 지보재는 지반조건, 함수대 유무, 단면형태, 심도, 시공법, 라이닝의 시기 등을 고려하여 안전하고 능률적으로 터널 내부작업을 수행할 수 있도록 설계하여야 한다.
 - ② 강지보재의 크기와 간격 결정 시 연직갱 단면의 크기 및 지반조건 등을 고려하여야 하며, 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 록볼트와 슛크리트로 대체할 수 있다.
 - ③ 연직갱 지보재의 설계는 「KR C-12030 터널지보재」에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있으며, 지반의 급격한 변화, 지하수의 유동성 등을 감안하여 안전측으로 설계할 수 있다.
 - ④ 슛크리트의 탈락방지를 위하여 철망이나 섬유보강 슛크리트를 사용하여야 한다.
- (4) 연직갱의 라이닝 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 라이닝에 사용되는 재료는 터널의 사용 목적에 적합한 것이어야 하며, 일반적으로 콘크리트 사용을 기본으로 하되 지반조건에 따라 콘크리트 블록(Concrete Block), 세그먼트(Segment), 라이너플레이트(Liner Plate) 등을 사용할 수 있다.
 - ② 라이닝의 길이 및 두께의 설계 시에는 연직갱의 용도에 적합한 단면의 크기 및 형상, 지반특성, 심도, 작용하중, 라이닝 재료, 시공법, 시공성, 기존 시공실적 등을 고려하여야 한다.
 - ③ 지질구조가 복잡하지 않은 경우에는 적용하중이 균등하게 작용하는 것으로 간주하여 설계할 수 있다. 그러나 지질구조가 급격히 변하거나 지형 및 지반 특성상 현저하게



비대칭인 경우에는 편하중이 작용하는 것으로 설계하여야 한다.

- ④ 하향굴착 시 굴착, 발파, 버력처리 후 즉시 측벽을 라이닝으로 유지하는 경우에는 라이닝이 지반압을 받는 것으로 설계하여야 하며, 불량한 지반의 경우에는 측벽붕괴를 방지하기 위하여 라이닝 길이를 짧게 하고 강지보재를 추가하는 등 대책을 강구하여야 한다.
 - ⑤ 굴착과 라이닝을 20~30m 정도로 교대로 시공하는 경우에는 굴착 후 지반변형을 숏크리트 등으로 억제하고, 지반상태에 따라 일정 구간을 일시에 라이닝을 시공하는 것으로 설계할 수 있다. 라이닝의 설계 시 지반압은 라이닝이 받는 것으로 설계하여야 한다.
 - ⑥ 숏크리트와 록볼트를 시공하는 경우에는 콘크리트라이닝의 두께는 시공성, 단면의 크기 등을 고려하여 설계하고, 단면의 증감을 고려하여 두께도 적합하도록 증감시켜야 한다.
 - ⑦ 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성 및 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 설계하여야 한다.
- (5) 연직갱의 터널바닥설비 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- ① 연직갱의 터널바닥설비에는 배수설비와 버력처리설비가 있으며 지반조건, 본선 터널의 시공법, 연직갱의 운반방법, 굴진공정 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정하여야 한다.
 - ② 공사 중 배수설비는 KR C-12120 터널 환기, 조명, 방재시설에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
 - ③ 배수설비 설계 시 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널내 배수관, 펌프장, 배전실 및 충전실, 재료적치장 등에 대하여 검토하여야 한다.
 - ④ 연직갱 본체에 설치할 각종 부대시설 등은 지반조건, 운반방법 등을 고려하여 그 규모와 배치를 결정하여야 한다.
 - ⑤ 안전설비로서 전화, 점멸장치, 사이렌 등의 비상용 경보장치와 소화기의 설치, 비상용 자재로서 가스마스크 등이 계획되어야 한다.
- (6) 연직갱의 터널외부설비 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- ① 공사 중 발전설비는 KR C-12120 터널 환기, 조명, 방재시설에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
 - ② 연직갱 내 과도한 지하수 유입으로 인하여 배수설비가 침수되는 경우에 대비하여, 인원탈출을 위한 케이지 권양기와 배수펌프의 전선을 별도계통으로 나누어 배선하여야 한다.

4.4.3 경사갱의 설계

- (1) KDS 27 10 05(4.4.3)을 따른다.
- (2) 경사갱의 굴착방법 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.

KR C-12005

- ① 기울기 및 유효단면에 적합한 굴착, 보강, 운반, 환기, 배수 방법 등을 확립하여야 한다.
 - ② 경사갱의 굴착공법은 전단면내리막굴착, 전단면오르막굴착, 분할굴착, 선진도갱확대굴착 등으로 구분되며, 경사갱의 용도, 연장, 기울기, 단면의 형태 및 크기, 지반조건, 입지조건, 굴착방향, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 선정하여야 한다.
 - ③ 굴착방법으로서 인력 또는 발파방법 외에 기계굴착방법도 고려할 수 있다.
 - ④ 경사갱 내 발파계획은 지반조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 수립하여야 한다.
- (3) 경사갱의 지보재 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- ① 지보재는 시공법, 지반조건 등을 고려하여 굴착 후 지반의 자체 지보능력이 발휘될 수 있도록 설계하여야 한다.
 - ② 강지보재는 경사갱의 직각방향, 연직방향, 직각방향과 연직방향의 중간방향으로 설치할 수 있으며 초기응력 및 지반 상태를 고려하여 가장 적합한 방법으로 선택하여야 한다.
 - ③ 지보재와 지보패턴은 수평터널의 경우에 준하여 설계하여야 하며, 경사갱의 특수성을 감안하여 수평터널의 지보재보다 안전측으로 설계할 수 있다.
- (4) 경사갱의 라이닝 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- ① 라이닝은 경사갱의 용도, 기울기, 지반조건, 시공법, 시공시기 등을 고려하여 설계하여야 한다.
 - ② 라이닝설계는 수평터널의 설계에 준하지만 기울기가 급한 경사갱이나 수압관로의 라이닝은 주변 지반의 상태 혹은 수압 크기 및 형태에 따라 적절한 두께와 구조를 확보하도록 하여야 한다.
 - ③ 라이닝두께는 단면의 형태와 크기, 라이닝에 작용하는 하중, 지반조건, 라이닝재료, 시공성 등을 고려하여 정하여야 한다.
 - ④ 라이닝두께는 일반적으로 경사갱에서는 하중의 크기에 견딜 수 있는 두께로 설계한다.
 - ⑤ 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성, 양호한 품질과 시공성을 얻을 수 있도록 설계하여야 한다.
- (5) 경사갱의 터널바닥설비 설계 시에는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- ① 경사갱 내부의 터널바닥설비는 배수설비와 버력처리설비 등이 있으며 지반조건, 본선터널의 시공법, 경사갱의 운반방법 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정하여야 한다.
 - ② 버력처리설비는 기울기, 연장, 접속터널의 운반방법, 안전성, 능률 등을 고려하여 선정하여야 한다.
 - ③ 공사 중 배수설비는 KR C-12120 터널 환기, 조명, 방재시설에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정할 수 있다.
- (6) 경사갱의 터널외부설비로서 공사 중 발전설비 설계 시에는 KR C-12120 터널 환기, 조명, 방재시설에서 정하는 바에 따르는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 조정



할 수 있다.

(7) 경사궤를 화재 시 배연통로로 이용할 경우 별도의 대피통로계획을 수립하여야 한다.

4.5 갱구부

4.5.1 갱구부설계 기본방향

(1) KDS 27 10 05(4.5.1)을 따른다.

4.5.2 갱구부 설계

(1) KDS 27 10 05(4.5.2)를 따른다.

4.6 갱문

4.6.1 갱문설계 기본방향

(1) KDS 27 10 05(4.6.1)을 따른다.

(2) 갱문의 형식은 터널의 사용목적에 적합하고 주변경관과의 조화와 유지관리상의 편의성을 고려하여 다양한 형식으로 적용할 수 있으며, 갱구부의 지형 및 지반조건을 고려하여 다음과 같이 선정하여야 한다.

- ① 갱문 형식은 지형 및 지반조건, 급경사지 재해예방에 관한 법률에 제시한 경사도 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- ② 급경사지에 갱문이 형성될 경우에는 갱구부와 분리된 갱문구조물을 형성하는 면벽형 혹은 중력형 갱문 적용을 우선적으로 검토하며, 구조물은 갱문 배면의 지반압을 받는 토류 옹벽구조로 설계하여야 한다.
- ③ 완경사지에 갱문이 형성될 경우에는 갱구부와 연속된 갱문 구조물인 돌출형의 적용을 우선적으로 검토하며 지형 및 지반조건, 주변환경 등을 고려하여 형상을 선정하여야 한다.

4.6.2 갱문설계

(1) KDS 27 10 05(4.6.2)를 따른다.

(2) 터널에서 설계속도 고속화에 따라 주변지역에 공기압(미기압)의 영향이 우려되는 경우에는 이를 고려하여 갱문형식을 정하여야 한다.

(3) 돌출형 및 면벽형, 중력형 갱문 상부에는 낙석방지, 유지보수요원의 안전한 통행을 위하여 안전난간 등의 보호시설을 설치하여야 한다.

① 안전난간 설치범위

가. 설치범위

(가) 돌출형 : 터널상단, 터널 양쪽에 시공기면으로부터 2.0m까지(H=1.2m)

(나) 면벽형, 중력형 : 터널 상단(H=1.2m)

나. 안전난간 재질은 스테인레스(STS 304) 또는 아연도금강재 등으로 녹이 생기지 않고 열전도율이 낮아야 한다.

다. 안전난간은 이용자의 안전을 위하여 필요한 경우, 접지를 하여야 한다.

② 이외의 보호시설에 관한 기준은 「KR C-02060 본선부대 및 안전시설」 해설 1. 안전시설을 따른다.

4.7 단면확폭부 및 접속부

4.7.1 단면확폭부 및 접속부 설계 기본방향

(1) KDS 27 10 05(4.7.1)을 따른다.

(2) 단선터널과 복선터널 기본단면에서 대피소, 신호기, 전철기, 변압기, 터널내 교행역 설비 등 시설을 계획해야 할 경우 단면이 크고 복잡하며 특수한 형상이 되기 때문에 그 기능, 목적 및 지반조건을 고려하여 다음 경우의 터널과 주변지반의 안정을 확보할 수 있도록 설계하여야 한다.

(3) 터널 단면을 확폭해야 하는 경우는 다음과 같다.

- ① 단선터널 내 교행역이나 대피역 등의 시설로 확대확폭하는 구간
- ② 터널 내 분기기 설치로 확폭하는 구간
- ③ 터널이 평면선형상 곡선부에 위치하여 건축한계(시설한계) 폭을 확폭하는 경우
- ④ 터널 내 환기설비 설치로 확폭하는 구간
- ⑤ 터널 내 본선이 단선병렬에서 복선으로 또는 복선에서 단선병렬로 선로간격이 변화 되는 구간

⑥ 대피소, 신호기, 전철기, 변압기 등 시설의 설치로 단면확폭이 필요한 구간

(4) 기본단면을 확폭하는 터널은 지반의 조건이 양호한 위치에 설치하는 것을 기본으로 한다.

(5) 단면확대확폭 개소는 터널과 주변지반이 역학적으로 안정하고 그 시공이 경제적이 되도록 단면확대확폭의 형상, 시공방법 및 순서, 지보재, 콘크리트라이닝, 보강공법 등을 검토하여 설계하여야 한다.

4.7.2 단면확폭부 설계

(1) KDS 27 10 05(4.7.2)를 따른다.

4.7.3 접속부의 설계

(1) KDS 27 10 05(4.7.3)을 따른다.



- (2) 접속부는 교행역, 대피역 및 분기기 설치개소 등이 해당된다.
- (3) 교행 대피역이나 분기기 설치개소는 터널 단면들이 여러 형태이므로 이에 대한 안정성을 검토하여 설계하여야 한다.
- (4) 교행 대피역이나 분기기의 구조와 형상은 안정성이 확보되도록 계획해야 하며, 부득이하게 지반조건이 불량한 위치에 계획된 경우에는 별도의 상세한 지반조사를 실시하고 안정성을 검토하여야 한다.

4.8 침매터널

4.8.1 침매터널 설계 기본방향

- (1) KDS 27 10 05(4.8.1)을 따른다.

4.8.2 침매터널 설계

- (1) KDS 27 10 05(4.8.2)를 따른다.

해설 1. 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 거쳐오며 자체의 응력을 보유하고 있는 것을 초기응력이라고 부른다. 초기응력은 그 지반응력이력(Strees 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 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 쉼드, 메서쉼드, 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 섬유보강이 없는 일반 숏크리트의 두께를 정하고자 할 경우에는 섬유보강 유무에 따른 숏크리트의 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 다소 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 최대로 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 콘크리트라이닝의 타설시기 검토 및 시공
 - ⑩ 계측계획 및 수행방법
 - ⑪ 각종 부대시설
 - ⑫ 터널시공에 따른 환경영향분석
 - ⑬ 공사시방서
 - ⑭ 시공계획
 - ⑮ 설계내역서
 - ⑯ 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 1>의 사항을 포함하여야 한다.



표 1. 설계내용의 변경사항

주요항목	주요내용
지반의 재분류	· 적용지반의 분류
설계단면의 변경	· 지보재 · 변형 여유량 · 단면형상
적용지보패턴의 변경	· 숏크리트 두께 · 숏크리트의 재질 · 록볼트의 길이, 본수 · 강지보재 설치간격 및 규격
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 숏크리트 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

해설 2. 연직갱, 경사갱 및 횡갱 일반사항

연직갱, 경사갱 및 횡갱은 장대터널 시공에 있어서 공사용 환기, 자재운반을 목적으로 하는 임시적인 것과 운영 중인 철도의 환기·방재용 통로 등으로 사용되는 영구적인 것으로 구분된다.

연직갱, 경사갱 및 횡갱 설계는 설치의 목적, 기능에 따라 공사용 설비 및 본선 터널 또는 다른 관련 설비와의 연계를 검토하여 위치와 단면 형상, 길이 등을 결정하여야 한다. 여기에서 말하는 연직갱이란 수직이거나 수직에 가까운 터널을 말하며, 경사갱이란 경사진 터널을 말하며, 횡갱은 병렬하는 2개의 터널 사이에 설치하여 연결하는 터널을 말한다.

연직갱, 경사갱 및 횡갱은 일반적으로 작업갱으로 사용함을 목적으로 하며, 방재 및 환기 용도로도 사용할 수 있다. 최근에는 수평 갱구부의 민원발생, 환경보전 등의 필요에 따라 비교적 짧은 터널에서도 작업갱을 설치하는 예가 있으나, 산악 철도터널에서의 작업갱으로 연직갱, 경사갱 및 횡갱을 설치하는 예는 많지 않다.

연직갱, 경사갱 및 횡갱의 위치 선정은 사전에 시추조사, 물리탐사 등으로 충분히 지반, 지하수 상태 등을 조사하고 지형, 지질이 좋은 곳을 선정하여야 한다. 이 경우 연직갱의 길이를 짧게 하는 것도 필요하지만, 주변지반의 조건을 우선적으로 고려하여 선정하는 것이 보다 중요하다.

그리고 시험구간의 시추코어로부터 대수층의 심도와 두께, 절리의 크기, 발달상태, 방향에 따른 투수계수의 변화, 간극률, 간극의 범위 등을 측정하여 대수층의 특성을 정밀하게 파악하여야 한다.

이외에도 야외지반조사 및 지형조사, 지장물 조사 등을 통하여 시공 시 접근의 용이성과 굴착공법의 선정, 부대설비 설치를 위한 공간 등을 확보하기 위한 자료로 활용하여야 한다.



해설 3. 연직갱 설계

1. 단면설계

1.1 위치선정

연직갱 위치는 시공성, 경제성을 고려하여 토피가 얇은 곳을 선정하고 작업 부지확보를 위하여 농경지를 가급적 피하도록 하며, 시공 시 공사용 도로의 확보가 용이한 곳으로 선정하여야 한다.

설계 시 다음조건을 고려하여 선정하여야 한다.

- (1) 시공성, 경제성을 고려하여 가급적 심도가 얇은 곳
- (2) 시공 시 필요한 작업공간 및 운영 중 부대시설의 설치공간을 충분히 확보할 수 있는 곳
- (3) 공사용 접근도로의 확보가 용이한 곳
- (4) 환기목적일 경우 배출가스로 인한 주변 자연의 오염을 최소화 할 수 있는 곳
- (5) 연직갱과 접속되는 본선부의 지반조건이 양호하거나 최소한 보강으로 본선 및 연직갱의 안정을 확보할 수 있는 곳
- (6) 연직갱이 외부로 노출되는 지형이 강우, 강설, 토사 등의 유입으로 인하여 연직갱의 안정성 및 사용성에 영향을 미치지 않는 곳

1.2 단면 크기의 결정

연직갱의 단면은 용도에 따른 소요내공단면, 시공법, 연직갱 내에 설치될 제설비의 배치, 반입 기자재의 크기, 지반조건 등을 종합적으로 고려하여 그 크기와 형상을 정하여야 한다.

연직갱 단면을 결정할 때에는 다음사항을 고려하여 설계하여야 한다.

1.2.1 환기용 연직갱

터널 내의 소요환기량을 충분히 확보할 수 있는 단면적을 갖도록 설계하여야 한다. 즉, 연직갱의 내공은 환기계획에 기초한 소요환기량에 대하여 환기용 통로(덕트)내의 풍속이 20m/sec(경제풍속) 이하로 되는 단면으로 결정하여야 한다. 공기압의 저감을 위하여 설계하는 연직갱의 단면은 본선터널의 단면, 열차속도 등 모든 관련사항을 고려하여 결정하여야 한다.

1.2.2 작업용 연직갱

버력 반출설비 및 반입자재의 크기에 따라 작업용 연직갱 단면이 결정되는데, 소요의 운반량을 처리하기 위한 케이지(Cage) 및 스킵(Skip) 등의 버력처리 설비 및 배수관, 환기관, 급기관, 각종 배선류, 비상계단 등의 설치와 반입 기자재의 크기 등을 종합적으로 검토하여 단면을 결정하여야 한다.

1.3 단면 형태

연직갱의 형상은 연직갱의 길이와 주변 지반상태에 따라 결정되는데, 일반적으로 산악지

형에서의 길이가 긴 연직갱의 경우는 지반압 및 안정성을 높이기 위하여 원형 단면으로 설계하는 경우가 많다.

<그림 1>은 작업용 원형 연직갱의 단면분할 계획 사례를 보여주는 그림이다.

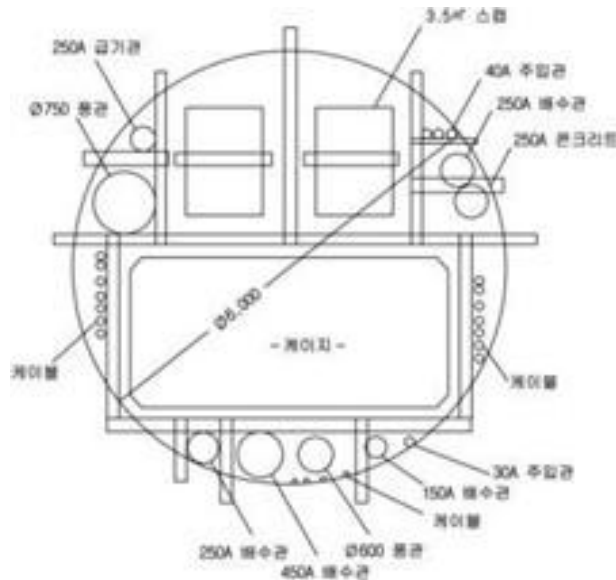


그림 1. 작업용 연직갱의 단면분할 사례

1.4 방·배수공

연직갱 주변의 지표수 및 배면수(지하수)가 연직갱 내부로 유입될 경우 겨울철에 고드름이 생성되어 연직갱 구조물의 손상과 낙빙에 의한 안전사고의 위험이 있고, 연직갱 깊이가 깊을 때에는 연직갱 구조물에 수압이 과대하게 작용하게 되므로 연직갱 주변에 방·배수 시설을 계획하여야 한다. 방·배수시설로는 수평터널에서와 같이 복공과 슛크리트면 사이에 방수막과 부직포를 설치하여 누수를 예방하고, 주변에 환형의 유공관과 수직관으로 배면수(지하수)를 유도하여 본선 배수로에 연결 배수처리를 하여야 한다. 유공관의 크기 및 설치 간격은 연직갱의 규모와 지반조건에 따른 발생유량을 산정하여 적용하여야 한다.

1.5 환기탑 계획

연직갱을 환기용으로 이용 시 연직갱 자체시설의 보호와 연직갱을 통해 배출된 오염가스에 의한 주변환경 보호를 위하여 지상부분에 돌출 구조물인 환기탑을 설치하여야 한다. 환기탑은 연직갱의 용도에 따라 급기용, 배기용, 급·배기용으로 구분되며 각각 기능에 따라 환기탑의 구조가 달라진다.

1.5.1 탑의 형상 결정 시 고려사항

- (1) 배기가스의 유효상승고를 크게 하기 위해 배기는 환기탑의 바로 상부에서 상향으로 방출되도록 하여야 한다.
- (2) 배출에 의한 손실을 적게 하기 위해 배출속도를 연직갱의 내부 풍속보다 조금 낮게 하고 배출부의 형상은 손실이 적게 되는 형상으로 하여야 한다.
- (3) 배출속도는 하향 유동을 피할 수 있도록 자연풍속의 2배 이상으로 하여야 한다.



- (4) 흡기와 배기의 혼입이 되지 않도록 하여야 한다.
 - (5) 흡기구에는 새, 나뭇잎, 눈 등의 이물질이 흡입되지 않도록 하여야 한다.
 - (6) 흡기구에는 적설에 의해 막히지 않도록 하여야 한다.
 - (7) 주위의 경관과 조화를 이루도록 미관을 고려하여야 한다.
- 이상의 사항 등을 고려하여 환기탑의 용도 및 성능발휘에 적합하도록 설계하여야 한다.

1.5.2 연직갱 송배기탑의 기본설계 환기탑의 배기구에서 분출하는 매연 및 일산화탄소 등 불순공기가 신선한 공기를 흡입하는 송기통로로 재흡입되지 않도록 환기탑의 형상, 송·배기구의 설치높이, 환기탑 설치위치의 지형을 고려하여 환기탑을 설계하여야 한다.

2. 굴착공법 및 버력처리

2.1 굴착공법

터널공사에 있어서의 연직갱은 공사기간을 단축하기 위하여 굴진면을 증설하고 본 갱의 버력 반출이나 자재의 반출입에 쓰이는 작업갱 외에 터널의 환기용으로서 이용된다. 그러므로 연직갱 굴착을 위한 장비는 용도면에서 연직갱 그 자체를 굴착하는 기계와 그 뒤의 본 터널 굴착시의 기계설비가 필요하게 된다.

2.1.1 굴착공법의 분류

연직갱의 시공법을 버력 처리 위치에 따라서 대별하면 <표 2>와 같다.

표 2. 연직갱의 시공법 분류



연직갱의 굴착공법은 전단면 하향굴착, 전단면 상향굴착, 선갱 확대굴착 등으로 구분되며, 연직갱의 용도, 심도, 단면 크기, 지반조건, 입지조건, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법을 선정하여야 한다. 또한 연직갱내 발파계획은 지반조건, 지하수위, 굴착단면의 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 수립하여야 한다.

최근 산악지역이나 장대터널에서는 수직 환기구 및 작업구 굴착을 위하여 NATM공법과 RBM(Raise Boring Machine) 등을 이용한 굴착공법이 적용되고 있다.

(1) 병행 축벽법(並行 築壁法)

양질인 암반에서 적용하는 방법으로 어느 정도 깊이까지 굴착 후 라이닝의 기초를 시공하고, 가설발판(Scaffold)을 작업대(作業臺)로 하여 상부에서는 콘크리트라이닝을 타설하고, 하부에서는 굴착을 진행시키는 공법이다.

(2) 전단면 상향·하향 굴착공법

경암에 속하는 암반 내에 100~200m 정도의 연직갱 굴착 시 주로 적용하는 공법으로 이 방법은 RC(Raise Climber) 또는 RBM(Raise Boring Machine)과 같은 기계에 의한 전단면 굴착으로 설계할 수 있다.



또한 RBM을 이용하여 선진 굴착한 후 NATM 개념으로 확대 굴착하는 방법 연직갱을 적용할 수 있다.

위의 공법 중 적용압질, 굴착규모, 시공성 및 경제성 등을 고려해 볼 때 <표 3> 및 <표 4>와 같이 하향 굴착방법과 상향 굴착방법으로 구분하여 비교할 수 있다.

표 3. 하향 굴착방법

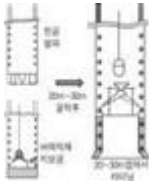
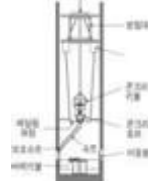
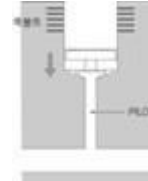
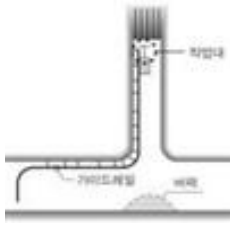
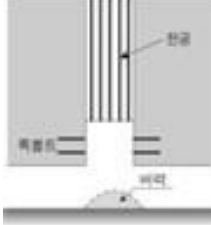
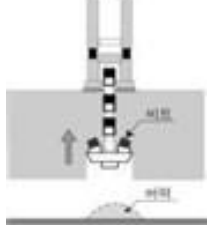
공법 항목	Long Step 공법	Short Step 공법	NATM 공법	전단면 연직갱 굴착기 공법
공법 개요				
시공 방법	1965년까지 일본에서는 연직갱 굴착시 대부분 이 공법을 채용했다. 지질상태에 따라 20~40m를 1 step로 해서 굴착하여야 한다.	1 step을 1.2 ~ 2.5m로 짧게 하여 굴착한 후 즉시 그 부분에 복공을 하여야 한다.	복공으로 콘크리트대신에 숏크리트와 록볼트를 사용하므로 지반의 변위를 막아서 연직갱 주변의 느슨함을 적게하며 아울러 암반의 내력을 강화시키면서 굴착하여야 한다.	독일의 WIRTH사에서 제작되고 있는 기계를 사용하여 파일럿갱을 선시공한 후 상부에서부터 확공발파에 의해 버력을 낙하시키면서 굴착하는 방법이다.
공법 특징	지보공이 느슨해질 우려가 있어 현재는 거의 채용되지 않지만 갱구하부 굴착시에는 채용되고 있다. 지보공 설치 공사비가 추가로 소요된다.	지반이 불량한 경우를 제외하고는 지보공이 필요없다. 1 사이클 중에 복공을 하여야 하므로 배치 플랜트설비가 필요하다.	배치 플랜트가 필요하지 않으므로 가설비가 비교적 간단하다. 용출수에 대해서는 사전대책이 필요하다.	지질이 좋지 않은 곳이나 복잡한 암반에서는 사용할 수 없다. 고가장비로 시공업자가 구입하기 곤란하다. 안정된 지질에서는 능률이 좋고 안전하다.
지질 조건	연암~경암 (불량 지질에 문제있음)	연암~경암 (지질에 대한 적용성이 큼)	연약지질~경암	중 경 암 (불량 지질 불가)
적용 심도	특별한 제한은 없다	특별한 제한은 없다	특별한 제한은 없다	467m (해외실적)
단면	ø 4.0m 이상	ø 4.0m 이상	ø 4.0m 이상	ø 4.5~6.5 (해외실적)
안전 성	보 통	보 통	보 통	중 음

표 4. 상향 굴착방법

공법 항목	RC 공법	단 계 발 파 공 법	RBM 공법
공법 개요			
시공 방법	스웨덴 장비인 레이즈-크라이머를 사용해서 상향으로 파일릿갱을 선시공한 후 하향으로 확공발파를 반복해서 연직갱을 굴착하여야 한다.	지상에서 본선터널을 향해 일정간격으로 시추(φ100mm)를 시추 후 상향으로 1.2~1.5m 만큼씩 발파를 반복해서 굴착하는 방법이다.	지상에서 유도공 천공후 갱밀 연결갱에서 리머(비트)를 부착하여 상향굴착하여야 한다. 확공필요시 발파공법으로 하향굴착하여야 한다.
공법 특징	이 공법은 소단면이기 때문에 유도갱으로 쓰이며 위에서 아래로 확공 굴착하여야 한다. 본선터널의 시공이 끝나기 전에 연직갱 굴착을 할 수 없다.	장약량이 많이 소요되어 발파소음과 진동이 크다. 시추횟수가 많아 공사기간이 길다.	레이스크라이머(RC) 공법과 같이 유도갱으로 이용되는데 굴착경은 φ1,450mm가 일반적으로 쓰이므로 확공발파시 유도갱이 막힐 우려가 있다.
지질 조건	중경암~경암 (균열이 많으면 불가능)	중경암~경암 (균열이 많으면 불가능)	연암~중경암 (붕괴, 팽창성지반 불가)
적용 심도	200m 이상	20~40m 이하	200m 이하
단면	특별한 제한은 없다.	특별한 제한은 없다.	φ 1.0~2.0
안전성	나쁨	약간 좋음	좋음

2.1.2 굴착공법의 특성비교

(2)에 기술된 굴착방법 중 적용 가능성이 큰 하향 굴착공법(NATM 공법, 전단면 연직갱 굴착기 공법)과 상향 굴착공법(RC 공법, RBM공법)에 대하여 세부적으로 평가하면 다음과 같다.



표 5. 굴착방법의 장단점 비교

공법 항목		NATM 공법 (하향굴착)	전단면 연직갱 굴착기공법(하향굴착)	RC (상향굴착)	RBM (상향굴착)
특 점	장	• 특별한 기계장비가 필요 없어 공정이 단순 • 본선티널굴착과 별개로 작업이 가능하여 전체시공기간이 단축	• 여굴량이 적음 • 버력반출 용이 • 공사기간이 짧음(연직갱 굴착만 고려시)	• 연직갱 상부에서 굴착을 위한 작업공간이 협소하거나 장비진입이 곤란할 경우 이상적	• 버력반출 용이 • 사고위험 적음 • 여굴량이 적고 소음진동이 적으며 작업여건 양호
	단 점	• 발파시 소음, 진동이 큼 • 버력반출이 복잡하고 기계식 굴착방법에 비해 불리 • 공사기간 길다(연직갱 굴착만 고려시) • 여굴량이 많음 • 배수 처리 대책필요	• 사고 위험 적음 • 고가의 굴착장비 도입에 따른 경제성 결여 • 연직갱 굴착단면적변화에 따른 대응력 부족 • 본선티널 굴착 완료 후 시행가능 • 지반조건이 균질한 지반에 효과적	• 상향 굴착작업중 암반 붕괴 시 위험하고 작업 환경 불량 • 상향 발파굴착시 작업성이 불량 본선티널 굴착 완결 후 시행되므로 공사기간이 김	• 본선티널 굴착 완료 후 시행가능 • 균질한 지반조건에가능함 • 2차확공 작업시 필요한 확장 비트(φ6.5m)가 소요되고 재굴착에 따른 공기가 김

2.2 연직갱 굴착장비

2.2.1 전면 파내려가기 공법

(1) 굴착장치

가장 일반적인 굴착장치로서 천공, 발파, 버력반출, 복공을 위에서 아래를 향하여 차례로 되풀이해 나가는 것으로서 굴착에 따라서 발생하는 버력을 모두 위로 감아 올려서 갱 밖으로 처리하여야 한다.

갱외설비는 <그림 2>와 같이 강재구조로서 망우 안에는 버력 반송장비, 버력 전도장치, 신호실, 소용돌이 검출장치, 헤드시프 등이 설치되어 있다. 망루의 높이는 배출버력 전도도어의 설치위치가 지상 8~9m 정도이며 그 위에 각 장치가 설치되고 다시 소용돌이에 대한 보안 거리를 잡으므로 25m 정도가 크게 된다.

국내에서 적용은 탄광 연직갱도가 약 800m 정도의 실적이 있으며 국외에서는 1000m 이상의 실적도 있다. 국내에서 지하철, 통신, 전력용 연직갱 등 깊이가 대부분 50m 내외실적이 많으며 75m 이내에서는 크레인으로 버력처리를 하는 것이 가능하다.

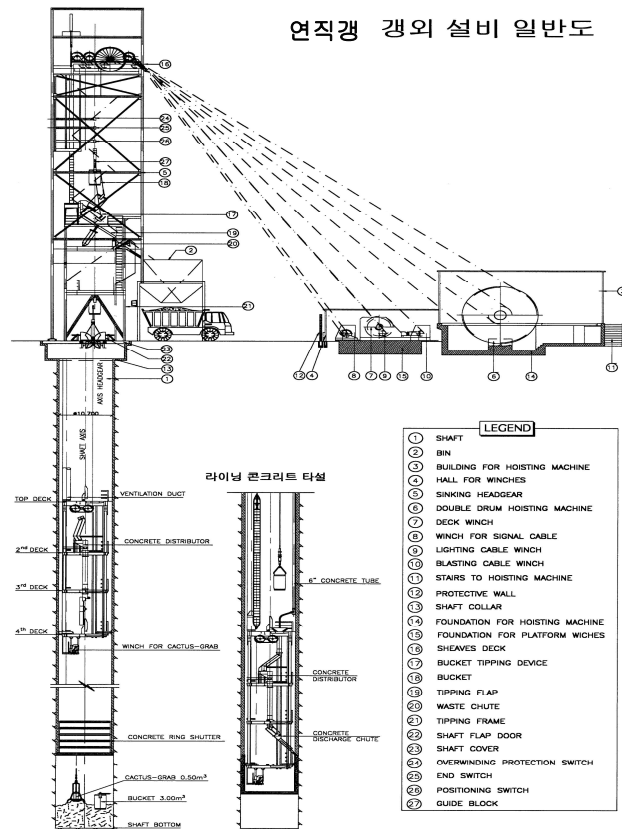


그림 2. 전면 파내려가기 공법 개요도

(2) 버력 적재기

버력 적재기로서는 글러브, 샤프트마커, 터널사양 적재기가 있다.

① 글러브

글러브 버력 적재장치는 버력을 집어올리고 놓아주는 글러브와 이것을 오르내리는 글러브윈치 및 그 사이의 와이어로프, 매달음장치로 구성된다. 글러브는 6개의 강경한 발톱을 대구경실린더로 개폐하는 구조인 것으로 조작용 본체에 붙어 있는 공기의 개폐밸브에 의해서 하게 된다.

글러브 권상기는 선회함에 탑재하고 발판(Scaffold)에 설치된 5마력 정도의 에어모터에 의해서 주행시킨다.

② 샤프트마커

이 기계는 스웨덴의 알리막사에 의해서 개발된 장치로서 발판(Scaffold)에 유압굴착기의 붐과 어터치먼트를 설치한 구조로 되어 있으며 운전원이 발판(Scaffold) 위에서 조작하여 배출버력을 적재하여야 한다.

③ 터널 사양 적재기

터널용 배출버력 적재기계는 비교적 큰 단면인 경우에 사용된다. 시공사례로서는 로커쇼벨 외에 소형의 유압굴착기 등이 있다.

국내에서 $\phi 6.8\text{m}$ 이상의 연직갱에서는 0.2m^3 급 유압굴착기를 많이 사용하고 있다.



④ 천공기계

일반적으로 쓰이고 있는 천공기계로서는 인력식 착암기, 언블레러 점보(렉타입), 샤프트 점보(드리프터 타입)가 있으며 연직갱의 규모, 암질, 사이클타임의 길이 등의 조건에 맞는 기종을 선택하여야 한다.

2.2.2 선갱 파 올라가기 공법

(1) RC(Raise Climber)

스웨덴에서 개발된 상향 굴착용기계의 구성으로서는 작업용 발판으로 되는 플랫폼, 승강용게이지 및 이것을 지지하는 가이드레일, 승강용의 구동유니트로 되어 있다. 구동유니트는 압기식, 전동식, 디젤유압식이 있으며 인원의 승강은 게이지를 타고 승강용 모터를 조작해서 하여야 한다.

국내에서는 양수발전소 수압관로터널 등에서 사용실적이 있으며, 해외실적도 많다. 시공 높이는 500m 이내가 통상 적용되고 있다. 그 이상인 경우에는 중간에 작업터널을 두어 2단 굴착을 하는 것이 통상적이다.

(2) RBM(Raise Boring Machine)

대구경의 시추기계로 굴착하는 연직갱 시공법으로서 기계의 구성은 굴착기본체, 유압과워유니트, 콘트롤유니트, 드릴로드, 비트, 송수펌프 등으로 되어 있다. 대표적인 방법은 지름 250mm~400mm 정도의 시추공을 아래쪽으로 천공하고 이것을 파일럿(Pilot)공으로 해서 위로 향하여 리밍하는 것으로서 리밍의 마무리 지름은 통상 싱글헤드인 경우는 $\phi 800 \sim \phi 1,750\text{mm}$ 이다.

더블헤드인 경우는 $\phi 3,500\text{mm}$ 까지도 가능하다. 굴착할 수 있는 깊이는 암질 등의 조건에 따라 다르지만 200m 정도가 보통이며 해외에서 500m 정도 실적도 있다.

2.2.3 확대 파내려가기 공법

이 공법은 연직갱 지름이 큰 경우 레이스 클라이머나, RBM으로 굴착후 소정의 단면으로 확대하는 경우 사용된다. 이때 버력은 자유낙하로 하부 터널로 떨어지기 때문에 버력처리 비용은 매우 저렴하며 시공을 위한 지상설비는 전면 파내려가기 공법과 비슷하나 그 설비규모가 매우 소형으로 시공이 가능하다. 이때 시공하는 장비를 확공장비(Enlargement Equipment)라 하며 국내에서는 양수발전소 등에서 사용실적이 있다.

이 공법은 연직갱 하부에 버력처리를 위한 수평터널이 있어야 한다.

2.2.4 단계 발파공법(SBC공법)

이 공법은 대형드리프터 또는 다운저홀해머를 써서 상부에서 아랫쪽 갱도를 향해서 평행한 구멍을 천공하고 상부에서 폭약을 충전해서 아래에서 위를 향하여 분할발파해서 버력을 아랫쪽 터널로 떨어뜨리면서 다단발파를 통해 파올라가는 공법이다.

특징으로서는,

- 범용의 천공기를 사용하므로 특별한 설비를 필요로 하지 않는다.
- 작업이 단순하다.
- 연직갱으로 사람이 들어가지 않으므로 안전성이 높다.

2.3 굴진장

전단면 기계화 굴착을 제외하고, 일반적으로 연직갱의 굴착은 지반조건 및 지하수 유입량의 대소에 따라 분할굴착 혹은 전단면 굴착공법으로 설계하여야 한다.

천공은 연직갱 전용 점보드릴이나 수동식 착암기로 실시하며, 지하수 유입 개소 또는 불안정 지층에서는 기계화 설계가 불합리하다.

이때 1회 굴진장은 연직갱의 단면적, 지반상태 등에 따라 다르지만, 작업조건이 좋을 때는 약 3.0m 정도까지 실시한 사례도 있으나 대체로 약 1.2~1.5m 내외로 <그림 3>과 같이 분할굴착 혹은 전단면 굴착으로 설계하여야 한다.

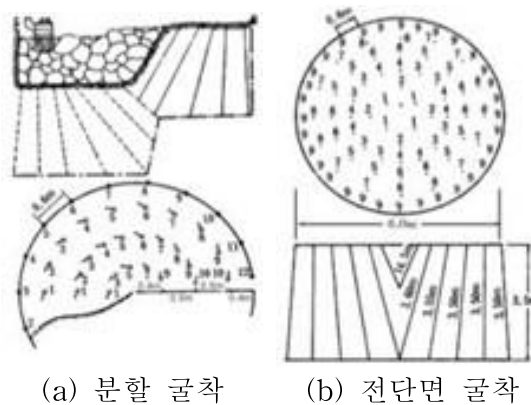


그림 3. 연직갱 굴착방법

2.4 발파공법

발파에 있어서 자유면을 증대시켜 폭파를 쉽게 하고 과다한 여굴을 감소시킴과 동시에 원지반의 이완을 최소로 억제하기 위해서는 발파패턴 선정이 매우 중요하다. 먼저 충분한 지표지질조사가 시행되어야 하며, 지층상태 및 특성, 지하수위, 굴착지름, 시공 가능 여부에 따라 검토되어야 한다. 발파패턴으로는 천공저에 심발공이 일직선상에 놓이도록 한 V-Cut발파, 충분한 약량을 중심에 장약한 후 이를 중심으로 동심원을 그리며 배치되는 Parallel Hole-Cut, 자유면을 손쉽게 얻기 위해 대구경 천공기계를 연직갱 굴착부에 도갱을 파고 확장한 후 발파, 2자유면을 벤치커팅법에 가까운 방법으로 굴착하는 방법 등이 있다.

2.5 버력타설

버력타설은 2m³ 버킷에 굴착기(0.2m³)를 이용하여 적재하고 호이스트로 샤프트 지역밖으로 운반하여야 한다.

버력처리는 신선한 암반이 나오도록 말끔히 처리하여 다음 공정에 차질이 없도록 하여야 한다.

버력처리가 완료되면 연직갱 중심선에서 추를 내려 막장부 중심선 측량을 하고 굴착 예정선을 라인 마킹하여 과다 여굴을 방지하여야 한다.

3. 지보형식 계획

연직갱의 지보재 설계는 콘크리트라이닝 또는 강지보재가 주지보재인 공법과 록볼트 및



쑏크리트가 주지보재인 공법으로 나눌 수 있으며, 지반조건, 함수대 유무, 단면형태, 심도, 시공법, 라이닝의 타설 시기 등에 따라 안전하고 능률적인 터널 내 작업이 될 수 있도록 설계하여야 한다. 기본적으로 쑏크리트, 록볼트, 강지보재 등의 지보재의 설계는 「KDS 27 30 00」에서 제시한 바를 준용하여야 한다.

3.1 강지보재

일반적으로 병행 축벽법에서는 지보재의 설계가 불필요하지만, 지보재를 필요로 하는 지반이나 공법의 경우에는 원형 단면의 연직갱에서 3~4 조의 H형 강지보재 혹은 격자지보로 보강하고, 설치간격은 1.0~1.5m 정도로 설계하여야 한다. 그러나 지반이 양호한 경우에는 강지보재를 록볼트와 철망으로 대체할 수 있다.

3.2 쑏크리트

쑏크리트의 두께를 결정하는데 있어서 일반적으로 적용할 수 있는 기준은 없는 실정으로 「KR C-12030 터널 지보재」에서 제시한 바를 준용하며, 통상 기존의 설계 및 시공실적을 감안하여 약 50~250mm로 설계하여야 한다.

<표 6>는 한국도로공사에서 국내외 도로터널 지반별, 단면 크기별 본선 터널 단면을 위한 쑏크리트 적용 실적을 요약한 표로서 경암 정도의 구간에서는 약 50mm, 환기탑 기초 갱구부의 구간은 약 150mm 정도를 적용할 수 있다고 제시하였으나, 이를 연직갱에 적용 시에는 사전에 충분한 검토를 수행하여 설계하여야 할 것이다. 또한 쑏크리트의 탈락방지를 위해 철망이나 섬유보강 쑏크리트를 사용하여야 한다.

표 6. 지반종류 및 단면 크기에 따른 쑏크리트 두께 적용 범위

종 류 단면 크기	쑏크리트 두께(mm)			
	경 압	연 압	풍화암	토 사
30m ²	50	5~10	50 ~100	100 ~ 150
30~40m ²	50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 내외
40~80m ²	50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 250
80~120m ²	50 ~ 100	100 ~ 200	150 ~ 200	250 내외

3.3 록볼트

연직갱에서의 록볼트 설계는 이에 대한 기준이 아직까지 제시된 바 없기 때문에 국내 터널 중 연직갱을 시공한 바 있는 터널 사례를 소개하면 다음과 같다.

- (1) GL 7.5~245m 구간 : D25, L = 4m, 수직 간격 2m, 수평하향 10°로 설치
 - (2) GL 245m~연결갱 상부 11m까지 : D25, L=3m, 수직간격 2m, 수평하향 10°로 설치
 - (3) 연결갱 상부 11m~연결갱 상부까지 : D25, L=4m, 수직간격 2m, 수평하향 10°로 설치
- 수평 터널과의 차이점으로는 연직갱의 심도에 따라 록볼트의 길이를 조절하였고, 수평방향을 기준으로 하여 하향으로 록볼트를 시공하였다.

3.4 콘크리트라이닝

콘크리트라이닝의 설계두께는 그 목적에 부합하도록 단면의 크기와 형상, 지반특성, 심도, 작용하중, 라이닝 재료, 시공법, 시공성, 기존 시공실적 등을 고려하여 결정하여야 한다.

3.4.1 작용하중

라이닝의 설계두께를 결정하는 방법은 본선 터널구간에서의 설계와 마찬가지로 외력으로서의 하중 특히 지반압 및 수압의 상태와 라이닝의 역학적 작용에 따른다.

지질 구조가 복잡하여 라이닝에 가해지는 작용하중의 정확한 예측이 곤란한 경우에는 지반압이 균등하게 작용하는 것으로 가정하여 설계할 수 있다. 그러나 외국의 연구 결과에 의하면, 굴착후 측벽 작업에 착수할 때에는 내공변위가 거의 수렴한 상태로서 측벽에는 거의 지반압이 작용하지 않는다고 판단하고, 라이닝의 두께는 정수압만을 대상으로 산정하고 있다.

3.4.2 라이닝 두께 설계

연직갱의 라이닝 두께 산정을 위한 설계방법들은 아래에 나열한 바와 같고, 이에 대한 내용의 설명은 관련문헌들을 참조하기 바란다.

- 탄성한계내의 응력상태에서의 두꺼운 원통으로 가정한 설계(Lame의 공식)
- Coulomb 소성상태에 의한 라이닝 두께 산정(Jaeger & Cook이 제안)
- 소성평형상태의 압반하중에 의한 라이닝 두께 산정(More 이론 확장)

참고로 지반의 변위가 수렴된 이후 라이닝을 타설하였을 경우 지반압은 무시할 수 있으나, 지하수가 정수압으로 작용할 경우 연직갱에서의 라이닝 두께를 산정하는 일반적인 공식은 다음과 같다(J.O. Bickel, T.R. Kuesel, and E.H. King, 1996).

$$t = r \left[\sqrt{\frac{f / SF}{f / SF - 2P_o}} - 1 \right] \quad (1)$$

여기서,

- t : 라이닝 두께(mm)
- r : 연직갱 내경(mm)
- f : 콘크리트 압축강도(MPa)
- SF : 안전계수(약 2.5)
- P_o : 외압(정수압, MPa)

국내외 연직갱 시공 실적 및 이론에 의한 라이닝 설계두께는 하향 또는 상향 굴착시 숏크리트와 록볼트를 시공하는 경우에 시공성, 단면 크기 등을 고려하여 약 200 ~ 400mm로 설계하며, 단면의 증감에 따라 설계두께도 적절하게 증감시키도록 하여야 한다.

3.4.3 라이닝 설계시 고려사항

연직갱의 라이닝 설계시에는 다음사항들을 고려하여야 한다.



- (1) 하향 굴착시 굴착, 발파, 버력 처리후 즉시 측벽을 라이닝으로 유지하는 경우에는 지반압을 라이닝이 전면적으로 받는 것으로 설계하여야 한다. 따라서 불량한 지반의 경우에는 측벽붕괴를 방지하기 위해 라이닝 길이를 짧게 하고, 강지보재를 추가하는 등의 대책을 강구하여야 한다.
- (2) 하향 또는 상향 굴착시 굴착과 라이닝을 20~30m 정도로 교대로 시공하는 경우에는 굴착 후 지반변형을 지보재로 일시적으로 방지하고 지반상태에 따라 일정 구간 일시에 라이닝을 시공하는 것으로 설계할 수 있다. 이때 라이닝의 설계시 지반압은 라이닝이 지지하는 것으로 설계하여야 한다.
- (3) 라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요강도, 내구성 및 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 설계하여야 한다.
- (4) 라이닝에 사용되는 재료는 터널의 사용 목적에 적합한 것이어야 하며, 일반적으로 콘크리트 타설 공법이 사용되지만, 지반조건에 따라 콘크리트 블록, 세그먼트, 라이너 플레이트(Liner Plate) 등으로 설계할 수 있다.
- (5) 지하수의 유입이 많거나, 유황성분의 지하수가 있는 지역에서는 콘크리트라이닝의 부식을 고려하여야 하며, 지수 및 지반강화를 위해 주입공법과 강재 라이닝 등의 설치 등을 고려하여야 한다.

4. 지하수 처리공법 계획

연직갱 굴착은 유입 지하수의 증가에 따라 시공능률, 안전성 등이 현저하게 저하된다. 따라서 굴착 작업 중의 용출수량 기준을 약 $0.2\text{m}^3/\text{min}$ 으로 하고, 그 이상일 경우 유입 지하수처리 공법을 적용하여야 한다.

일반적으로 연직갱에서의 유입 지하수처리 공법은 심정공법이나 동결공법, 릴리프 홀(Relief Hole) 설치 등이 있으며, 지반이 연약하고 지하수의 유입수량이 과대하여 유도배수가 불가능한 경우에는 주입공법을 적용할 수 있다.

5. 바닥 및 외부 설비 계획

5.1 설계시 고려사항

연직갱 터널바닥설비의 설계는 스킵(Skip)에의 반출물 적재시 흘림과 유입 지하수처리, 케이지(Cage)의 여유 등을 고려하여 본 터널보다 깊게 굴착하여야 하며, 그 깊이는 굴착 방법에 따라 다르지만 케이지 방법의 경우 약 100 ~ 150mm, 스킵(Skip)방법의 경우 약 300mm 정도의 깊이가 필요하다.

그리고 본선 터널공사와 다른 터널외부설비로 운반용 권상기(Hoist)와 연직갱 조명, 정전시의 예비 발전기가 필요하다.

이외의 터널바닥 및 터널외부설비 설계시 고려하여야 할 사항들은 다음과 같다.

- (1) 연직갱의 터널바닥설비에는 배수설비와 버력처리설비가 있으며, 지반조건, 본 터널 시공법, 운반방법, 굴진 공정 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 정하여야 한다.
- (2) 연직갱 본체에 설치할 각종 부대시설 등은 지반조건, 운반방법 등을 고려하여 그 규모와 배치를 결정하여야 한다
- (3) 연직갱과 본 터널과의 거리가 크게 되면 연락갱의 길이가 길게되어 공기 및 경제성 면에서도 불리하게 되므로 연락갱의 길이는 가급적 짧게 배치되도록 설계하여야 한다.
- (4) 정전시 배수, 인원의 터널외부 출입을 위한 예비 발전설비의 용량은 예상 용출수량, 터널내 작업인원 등을 고려하여 배수펌프 및 케이지 권양기의 운전이 가능하도록 설비하여야 한다.
- (5) 연직갱내 과도한 유입 지하수로 인하여 배수설비가 침수되는 경우를 대비하여, 배수펌프의 전선을 인원 탈출을 위한 케이지 권양기와 별도계통으로 나누어 배선하여야 한다.

5.2 배수설비 및 안전설비

- (1) 배수설비는 예상 유입 지하수량, 이상 출수, 펌프설비의 유지 및 보수, 고장시, 정전시 등을 고려하여 여유 있게 설계하며, 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널내 배수관, 펌프장, 배전실 및 충전실, 재료 적치장 등에 대해서도 검토하여야 한다.
- (2) 연직갱의 심도가 깊어지는 경우 중계펌프를 설치하여 원활한 배수가 되도록 하여야 한다.
- (3) 비상용 경보장치(전화, 점멸장치, 사이렌 등), 소화기 설치, 비상용 가스마스크 등의 안전설비를 계획하여야 한다.
- (4) 연직갱 통로에는 발판 미끄러짐 방지지설 등을 설치하고, 통로를 설치하는 때에는 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다.
 - ① 견고한 구조로 할 것
 - ② 추락의 위험이 있는 장소에는 안전난간을 설치할 것
 - ③ 연직갱에 가설된 통로의 길이가 15m 이상인 때에는 10m 이내마다 계단참을 설치할 것
- (5) 작업원의 추락 등에 의한 위험을 방지하기 위하여 안전난간을 설치할 때에는 다음 각 호의 기준에 적합한 구조로 설치하여야 한다.
 - ① 상부난간대, 중간난간대, 발끝막이판 및 난간기둥으로 구성할 것
 - ② 상부난간대는 바닥면, 발판 또는 경사로의 표면으로부터 90cm 이상 120cm 이하에 설치하고, 중간난간대는 상부난간대와 바닥면 등의 중간에 설치할 것
 - ③ 발끝막이판은 바닥면 등으로부터 10cm 이상의 높이를 유지할 것
 - ④ 난간기둥은 상부난간대와 중간난간대를 견고하게 떠받칠 수 있도록 적정 간격을 유지할 것
 - ⑤ 상부난간대와 중간난간대는 난간 길이 전체에 걸쳐 바닥면 등과 평행을 유지할 것



- ⑥ 난간대는 지름 2.7cm 이상의 금속제 파이프나 그 이상의 강도를 가진 재료일 것
- ⑦ 안전난간은 임의의 점에서 임의의 방향으로 움직이는 100kg 이상의 하중에 견딜 수 있는 튼튼한 구조일 것
- (6) 와이어로프 또는 달기체인(고리걸이용 와이어로프 및 달기체인을 포함)의 안전계수 (와이어로프 또는 달기체인 절단하중의 값을 그 와이어로프 또는 달기체인에 걸리는 하중의 최대값으로 나눈 값)가 다음 각 호의 기준에 적합하지 않은 경우 이를 사용해서는 안된다.
 - ① 근로자가 탑승하는 운반구를 지지하는 경우에는 10 이상
 - ② 화물의 하중을 직접 지지하는 경우에는 5 이상
 - ③ (가), (나) 이외의 경우에는 4 이상
- (7) 다음 각 호에 해당하는 와이어로프를 사용하여서는 안 된다.
 - ① 이음매가 있는 것
 - ② 와이어로프의 한 꼬임에서 소선(필러선을 제외한다)의 수가 10% 이상 절단된 것
 - ③ 지름의 감소가 공칭지름의 7%를 초과하는 것
 - ④ 꼬인 것
 - ⑤ 심하게 변형 또는 부식된 것
- (8) 겨울철 연직갱 주변의 지표수 및 배면지하수 연직갱 내부로 유입시 고드름이 생성되어 낙빙에 의한 구조물 손상 및 안전사고의 위험이 있으므로 수시로 결빙방지 확인 및 고드름제거 등 구조물 손상 및 안전사고 방지 대책을 강구하여야 한다.
- (9) 낙반 및 낙석 등의 위험이 있는 연직갱 내부에는 관계 작업원 외의 자의 출입을 금지시켜야 하며, 낙반, 출수 등에 의하여 산업재해발생의 급박한 위험이 있는 때에는 즉시 작업을 중지하고 작업원을 안전한 장소로 대피시키야 한다.
- (10) 재해발생위험을 관계근로자에게 신속히 알리기 위한 비상벨 등 통신설비 등을 설치하고 그 설치장소를 관계근로자에게 주지시켜야 한다.
- (11) 발파공에 장전된 화약류를 점화시킬 때 사용하는 발파기를 사용함에 있어서 정전기에 의한 폭발등의 위험이 발생할 우려가 있는 때에는 확실한 방법으로 접지를 하거나, 도전성 재료를 사용하거나 가습 및 점화원으로 될 우려가 없는 제전장치를 사용하는 등 정전기의 발생을 억제하거나 제거하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.
- (12) 연직갱 건설작업에 있어서 붕괴 등에 의하여 근로자에게 위험을 미칠 우려가 있는 때에는 필요한 계측장치 등을 설치하여 위험을 사전에 확인하기 위한 조치를 하여야 한다.

해설 4. 경사갱 설계

1. 단면설계

경사갱의 단면설계는 용도, 시공을 위한 운반 설비, 작업용 통로 및 공사용 제설비의 배치, 경사갱을 통한 각종 반·출입설비, 긴급 구난용 차량, 풍도설치여부 등을 종합적으로 고려하며, 기울기 및 연장은 설비의 반·출입, 설치용이성, 유지보수, 점검시의 안전성 등을 고려하여 결정하여야 한다.

1.1 단면 크기의 결정

경사갱의 내공단면 크기는 반출물의 운반방법 및 반·출입 기계, 자재의 최대 치수를 검토하고, 급·배수관, 급·배기관, 작업통로(폭 0.7m×높이 2m), 각종 배선, 경사갱을 통한 각종 반·출입설비, 긴급 구난용 차량, 풍도설치여부 등에 따라 결정된다. <그림 4>에는 반출물 운반방법에 따른 마제형 경사갱 단면과 부속설비의 배치 예를 보여주고 있다.

또한 배수관은 유입 지하수의 상태에 따라 증가시킬 수 있으므로 여유 있는 배치가 되도록 내공단면을 확보하여야 하며, 기능상 요구되는 단면 형상과 시공상 필요한 단면 형상을 동시에 만족하도록 고려할 필요가 있다.

1.2 경사 결정

경사갱의 경사는 용도, 연장, 본선 터널과의 위치관계, 지반조건, 시공법, 공기, 운전방법의 특성, 환기방법 등을 고려한 후 결정하여야 한다.

경사갱의 사용 목적에 따라 경사를 다르게 적용할 수 있는데, 장대터널의 작업갱, 지하발전소 등의 공사용 경사갱의 경우 약 14°정도의 경사로 설계하며, 연락용 갱도 및 광산 등에서는 30°, 압력수로터널에서는 50°내외의 경사로 설계하기도 한다.

또한 버력의 반출방법에 따라서 경사 한계를 결정할 수 있는데,

- (1) 벨트 컨베이어 방법에서는 버력의 미끄럼에 따라 최대 18°까지 가능하지만, 일반적으로 1/4(약 14°)를 표준으로 하고 있다.
- (2) 궤도방법에서는 권양기의 출력과 안전성, 효율성을 고려하여 1/4(약 14°)를 표준으로 하지만 약간 큰 16°정도까지 허용할 수 있다.
- (3) 덤프트럭 이용방법에서는 덤프트럭의 주행성능과 경사갱 연장을 고려하여 1/8(약 7°)~1/12.5(약 4.5°) 정도를 표준으로 하고 있다.
- (4) 경사갱 공사시 출입을 위하여 안전통로를 설치하여야 한다. 터널내의 통로는 최소 0.75m 이상의 폭을 확보하고 경사갱의 경사가 15° 이상인 경우에는 발판 미끄러짐 방지시설을 설치하며, 경사가 30°이상의 경우에는 계단을 설치하여야 한다. 경사갱의 연장이 긴 경우에는 종업원의 수송설비를 설치하여야 한다.

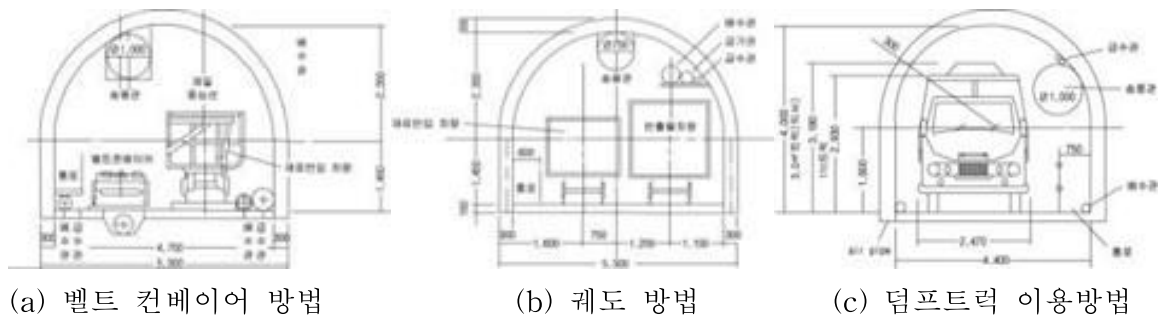


그림 4. 작업용 경사갱의 내공단면 예

2. 굴착설계

경사갱의 굴착공법은 전단면 하향굴착, 전단면 상향굴착, 선갱 확대굴착 등으로 구분되며, 경사갱의 용도, 연장, 경사, 단면의 형태 및 크기, 지반조건, 입지조건, 굴착방향, 공사기간, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 적절한 굴착공법 및 버력반출방법 등을 선정하여야 한다.

2.1 굴착방법

굴착공법은 수평 터널 공사와 기본적으로 차이는 없으나 막장부의 유입 지하수처리 등 부분적으로 다른 점이 있으며, 일반적으로 터널바닥에 인접하는 갱도의 이용이 곤란하기 때문에 지표 상부에서 하향으로 굴착하는 방법이 주로 적용되고 있다.

굴착방법으로 인력 또는 발파 외에도 기계굴착방법도 고려할 수 있으며, 발파방법을 적용할 경우 지반 및 지하수 상태, 단면 크기, 암질, 굴진장 등을 고려하여 발파패턴을 결정하여야 한다.

2.2 굴진장

장대터널에서 작업갱을 설치하는 경우 단면의 크기는 약 $20\sim 23\text{m}^2$ 정도가 많고, 특별히 지반조건이 열악한 경우를 제외하고 전단면굴착을 적용하여야 한다.

1일 굴진장은 대상 지반의 상태와 굴착방법에 따라 차이가 있으나 국내외 시공실적에 따르면, 평균 $1.0\sim 2.0\text{m/일}$ 이고, 최대 $4.0\sim 9.0\text{m/일}$ 까지 굴착한 사례가 있다.

3. 지보재 설계

지보재는 시공법, 지반조건 등을 고려하여 굴착 후 지반의 자체 지보능력을 발휘할 수 있도록 설계하여야 하며, 수평 터널의 경우에 준하여 지보패턴을 설계하되 수평터널의 지보패턴 보다 다소 보수적인 지보가 이루어지도록 설계하여야 한다.

3.1 강지보재

작업용 경사갱 굴착시 강지보재 설치 방법은,

- (1) 연직방향 설치
- (2) 경사갱의 직각방향 설치

- (3) 직각과 연직방향의 중간 방향으로 설치할 수 있으며, 초기응력 및 지반상태를 고려하여 가장 적합한 방법을 선택하여야 한다. 일반적으로 기존의 시공 실적에 의하면 중간각도로 설치하는 경우가 많으며, H형 강지보재의 규격은 H-100×100×6×8의 것을 사용하며, 원지반의 상태에 따라 0.9~1.5m 간격으로 설치하여야 한다.

3.2 숏크리트 및 록볼트

NATM개념의 터널공법으로 시공하는 작업갱에 대한 지보패턴 설계는 수평 터널공사에서 적용하고 있는 RMR 혹은 Q-시스템에 의한 암반 분류로부터 지보패턴을 결정하는 방법에 준하여 설계하여야 한다.

기존의 시공된 사례들에 의하면, 숏크리트의 두께는 지반조건에 따라 50 ~ 150mm 타설하였으며, 철망을 설치하여 숏크리트의 부착성과 인장강도를 증가시키도록 하였다. 그리고 록볼트는 굴착 단면이 협소한 점을 고려하여 지름 ϕ 25mm, 길이 L=2.0~3.0m의 록볼트를 설치하였는데, 1단면당 록볼트 5~7개를 1.0~1.5m의 간격으로 설치하였다.

3.3 콘크리트라이닝

3.3.1 콘크리트라이닝의 설계는 경사갱의 용도, 기울기, 지반조건, 풍도설치 여부, 시공법, 시공시기 등을 고려하여야 하며, 전술한 바와 같이 경사갱에서의 콘크리트라이닝 설계도 수평 터널의 설계에 준하지만 특별히 급경사의 경사갱이나 수압관로의 라이닝에 대해서는 주변지반의 상태에 따라 적절한 두께와 구조를 확보하도록 하여야 한다.

3.3.2 라이닝의 두께는 목적에 적합하도록 경사갱단면의 형태와 크기, 라이닝에 작용하는 하중, 지반조건, 라이닝 재료, 시공성 등을 고려하여야 하며, 일반적으로 300~400mm로 설계하지만 300mm를 표준으로 하여 내압이 작용하는 경사갱에서는 하중의 크기에 적절한 두께를 정하여야 한다. 다만, 지반조건, 풍도설치 여부, 사용용도 및 활용빈도 등을 종합적으로 고려하여 라이닝 삭제 또는 라이닝 두께를 변경할 수 있으나, 본선터널 접속부나 갱구부 30m 구간은 터널의 안정성을 고려하여 라이닝 타설을 원칙으로 한다.

3.3.3 콘크리트 라이닝 타설구간이 연약지반이거나 혹은 유입 지하수가 많은 지반에서는 인버트 폐합 콘크리트라이닝의 설치를 고려하여야 한다.

3.3.4 콘크리트라이닝에 사용되는 콘크리트의 배합은 소요강도, 내구성, 양호한 품질과 시공성을 얻을 수 있도록 설계하여야 한다.

4. 보조공법 계획

연직갱 및 경사갱의 굴착대상인 지층의 지반조건과 지하수를 확인하고, 대수층이 있거나 유입지하수가 많을 것으로 예상되는 경우에는 그 특성에 따라 시공 전 또는 시공 중에 지하수위 저하, 지수 및 차수, 지반보강 등의 보조공법을 적용하여야 한다.



5. 터널바닥 및 터널외부설비

경사갱 내부의 터널바닥설비는 지반조건, 본 터널의 시공법, 경사갱의 운반방법 등을 고려하여 그 규모, 용량, 배치 등을 결정하여야 한다.

경사갱과 본갱과의 교차부의 형상은 반출능력에 따라 반출용 열차의 운반궤도를 별도로 설치하는 경우와 직접 교차하는 경우가 있으며, 일반적으로 후자의 형식으로 시공한 사례가 많다.

또한 경사갱 수평부와 본 터널 및 운반궤도와와의 교차각도는 직각이 바람직하지만 운반궤도나 기계의 운행을 고려하여 30°~ 60°정도가 일반적으로 적용되고 있다. 이외에도 터널바닥 및 터널외부설비의 설계시 고려하여야 할 점으로는 다음과 같다.

- (1) 버력처리 설비는 경사, 연장, 접속터널의 운반방법, 안전성, 능률 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (2) 배수설비는 예상 지하수 유입량, 이상출수, 펌프 설비의 보수, 고장시의 예비, 정전시 등을 고려하고, 양정, 용량 등에 충분한 여유를 두도록 설비용량을 정하여야 한다.
- (3) 배수설비로서 경사갱 바닥의 침전조, 저수조, 배수펌프, 터널내의 배수관, 펌프실의 규모, 터널외부의 유량계, 예비 발전설비, 등을 검토하고 이들 설비들을 유기적으로 연결하는 연락터널, 충전실, 재료적치장 등에 대해서도 검토하여야 한다.
- (4) 경사갱의 터널외부설비의 설계시에는 자재 운반용 권양기와 정전 등 비상시를 대비한 예비 발전설비가 계획되어야 한다.

6. 시공장비 선정

경사갱의 시공장비는 지반조건, 단면, 기울기, 안전성, 등판능력, 능률 등을 고려하여 선정하여야 한다.

해설 5. 횡갱 설계

횡갱의 설치간격은 ‘철도시설 안전기준에 관한 규칙’에 의거하여 안전성 분석을 통하여 결정하는 것을 기본으로 하며 공사용 횡갱은 현장여건, 시공성, 경제성 및 안정성 등을 종합적으로 고려하여 설치여부를 결정하여야 한다.



해설 6. 갱구부 설계일반

갱구를 설계할 때는 갱구 부근의 지형, 지반조건, 지하수, 기상 등의 자연 조건과 민가, 인접구조물의 유무 등 사회적 조건 파악에 힘쓰고 비탈면의 안정, 기상재해의 가능성, 주변 경관과의 조화, 열차의 주행에 미치는 영향을 고려하여 갱구부의 위치, 갱문 구조, 유지관리용 시설 등의 설계를 적절히 하여야 한다.

여기서 말하는 갱구부 설계란 터널의 갱구부, 갱문 및 그 전후 선로 구간의 일부 설계를 총괄한 것이다.

갱구부는 일반적으로 원지반의 지형·지질 조건이 불안정하거나 터널 굴착시 지표면 변화 등으로 슬라이딩, 경사 붕괴, 편토압을 발생시킬 경우 그 대책이 어려우므로 설계시에 적절한 대책을 수립하여야 한다. 갱구부의 설계는 사전 조사의 정밀도나 원지반 상태의 추정에 한계가 있으므로 일반설계를 참조하여 비탈면이나 지표면에 미치는 영향을 예측하고 그 결과를 설계에 반영시켜야 한다.

갱구부의 설계에는 자연조건 이외에도 주로 토피가 작은 터널 위에 구조물 등이 있거나 민가에 근접한 터널 갱구가 계획되는 등의 사회적인 조건이 가해질 경우가 있다. 따라서 갱구부의 설계에서는 터널의 시공이 이들에 미치는 영향을 파악하고 특수한 시공법의 채택, 대상 구조물의 보강 등 필요에 따라서는 환경 보전상의 대책을 고려하여야 한다.

터널 갱구부도 원지반 그 자체가 구조체이므로 원지반을 가급적 이완시키지 않는 굴착방법을 선택하여야 한다. 부득이하게 안정성이 염려되는 원지반에 갱구를 만들 때에는 원지반을 우선 안정시킬 수 있는 보강대책을 수립하여야 한다.

갱구의 설계에는 터널의 규모에 따라서 유지관리용의 제반 시설을 고려하여야 한다. 또한 예측하지 못한 현상의 발생에 대해 정확한 대책을 강구할 수 있도록 갱구부 계측체제를 충분히 해 두어야 한다.

갱구부의 설계에는 아래의 항목을 검토하여야 한다.

- ① 갱구의 위치
- ② 갱구부로 시공되는 범위
- ③ 갱구 설치 방법
- ④ 갱구부의 지보구조와 보조공법
- ⑤ 갱구비탈면의 안정성 확보에 필요한 비탈면 안정공법
- ⑥ 기상재해의 가능성과 필요한 대책공법
- ⑦ 지표면 침하 등 갱구 주변의 구조물에 미치는 영향

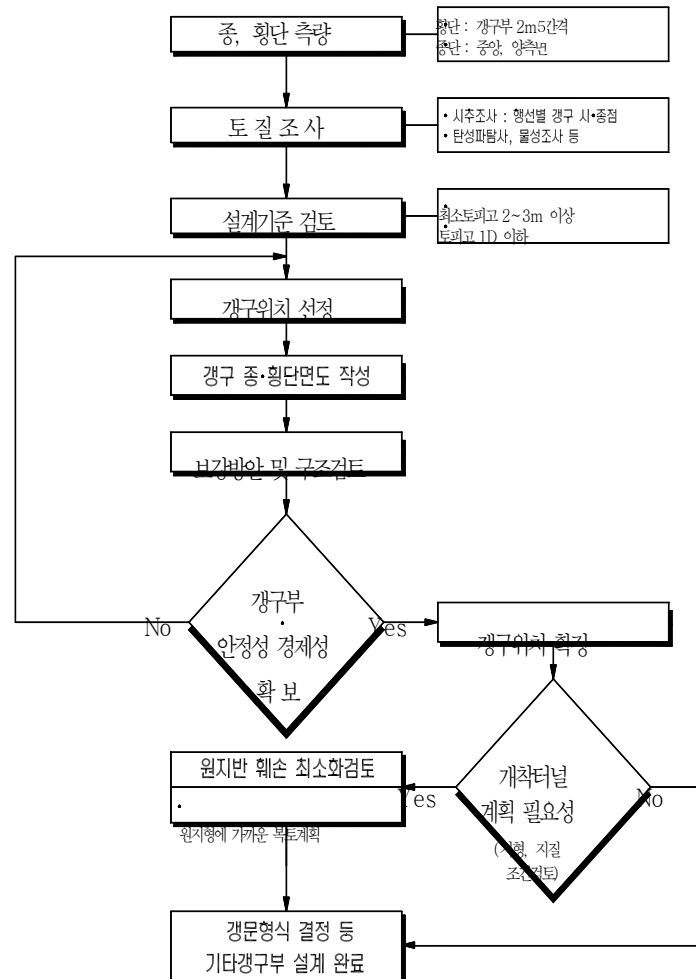


그림 5. 갱구부 설계 흐름도

1. 갱구부 정의

갱구부의 범위는 각 터널에 따라 지형, 지질 및 노선의 위치 등 설계조건이 다르기 때문에 일률적으로 정의하기는 곤란하나 터널의 시 종점부에서 터널시공이 비탈면이나 지표면에 영향을 미칠 수 있는 범위를 갱구부라 칭하기도 하고 설계의 합리화, 단순화를 위해 다음과 같이 정의하기도 한다(<그림 6>).

보통의 갱구부는 갱문 배면에서 갱내부 주변 지반

의 그랜드 아치의 형성이 가능한 1.5D(D는 굴착폭)의 토피가 확보되는 범위로 한다. 단 원지반 조건이 양호한 암석일 때와 토사층일 때에는 각 터널의 원지반 조건을 고려하여 별도로 그 범위를 정한다.

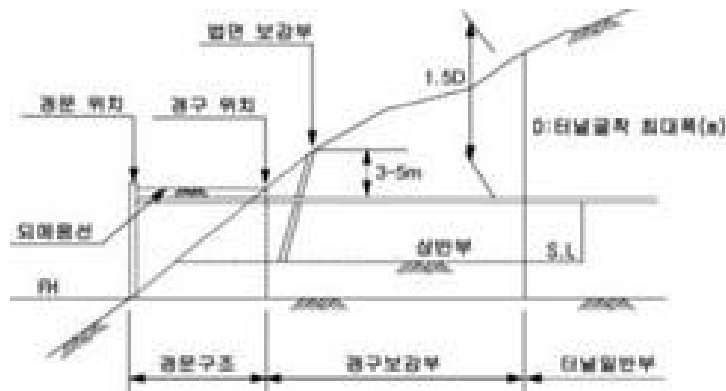


그림 6. 표준적인 갱구부의 범위

2. 갱구위치 선정

2.1 위치선정을 위한 지형특성 검토

터널 갱구부의 위치계획은 지형의 영향을 크게 받으므로 지형과 터널 중심축과의 위치 관계를 고려하여(<그림 7>) 수립하며 그 일반적인 특성은 다음과 같다.

2.1.1 비탈면 직교형 : ㉠

비탈면과 직교하여 진입하기 때문에 좌우토압의 균형이 유지되어 안정적인 구조물 설계가 가능하다. 비탈면이 급경사일 경우 대절토 굴착이 불가피하다.

2.1.2 비탈면 경사 교차형 : ㉡

터널 축선이 비탈면에 대해 비스듬하게 진입하기 때문에 비대칭의 깎기 비탈면이나 갱문이 될 수가 있다. 유동 압반인 경우는 편토압이 작용할 수가 있으므로 편토압에 대한 검토가 필요하다.

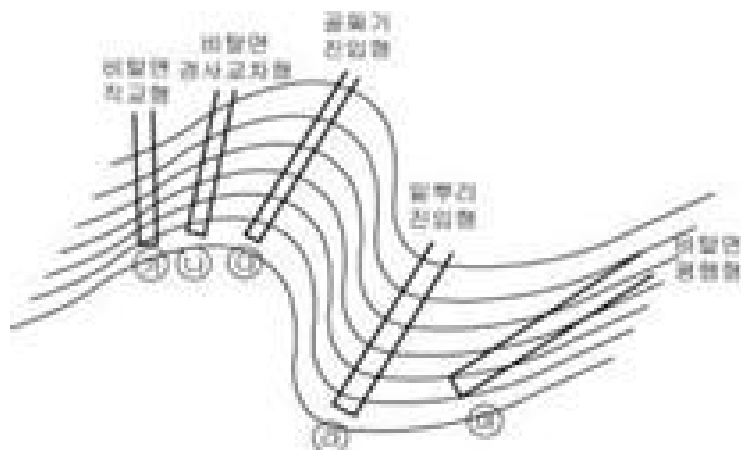


그림 7. 터널 중심축선과 지형과의 관계

2.1.3 비탈면 평행형 : ㉢

경사 교차가 극단적일 때이며 긴 구간에 걸쳐 골짜기 쪽의 토피가 극단적으로 얇아질 때가 있어 편토압에 대해 특별한 배려가 필요하게 된다. 편토압 문제가 많아 급속적 피하여야 할 위치 관계이다.

2.1.4 밑뿌리 진입형 : ㉠

터널 양측면의 토피가 극단적으로 얇아질 때가 있어 횡단면의 검토가 요구되며 암선의 좌우 비대칭일 경우가 많고 암선이 깊게 될 경우가 많기 때문에 지반조사를 철저히 하여야 한다. 선형상으로는 갱구부의 굴착량이 최소가 되어 경제적이며 지반조건상으로 문제가 없다면 바람직한 방법이다.

2.1.5 골짜기 진입형 : ㉡

일반적으로 테일러스의 미고결 퇴적층이 두텁게 분포하고 지표수의 유입과 지하수위가 높을 때가 많다. 또한 토사류, 눈사태 등의 자연 재해가 발생하기 쉬운 관계이다. 가급적 피하여야 하나, 부득이하게 계획되었을 경우 지표수의 배수처리, 낙석, 산사태, 눈사태 등의 자연재해 발생에 대비하여야 한다.

2.2 갱구위치 선정

설계시 갱구위치는 토피고 3~5m가 확보되는 지점으로부터 토피고 1.5D 내에서 지형·지반조건 등을 검토하여 환경훼손이 최소화될 수 있는 위치를 선정하여야 하며 선정시 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 갱구의 위치는 안정된 원지반의 이완이 최소화하도록 선정한다.
- 갱구비탈면에 미치는 영향, 주변 경관과의 조화, 갱구부의 시공법 등을 고려하여 적당한 토피가 확보될 수 있도록 계획하여야 한다.
- 터널 천단부에서의 토피고를 기준으로 최소 3~5m가 확보되는 지점으로부터 1.5D 내에서 지형·지질 조건 등을 검토하여 훼손구간이 최소화될 수 있도록 최적의 위치를 선정하여야 한다(단, 연약토의 발생 등 특수여건에 대하여는 환경적 가치에 대한 경제성을 비교·검토 후 위치결정).
- 갱구비탈면 및 천단부의 안정성을 확보하기 위한 보조공법의 적용에 대하여 구조검토를 시행한다(3D FEM 해석 등).

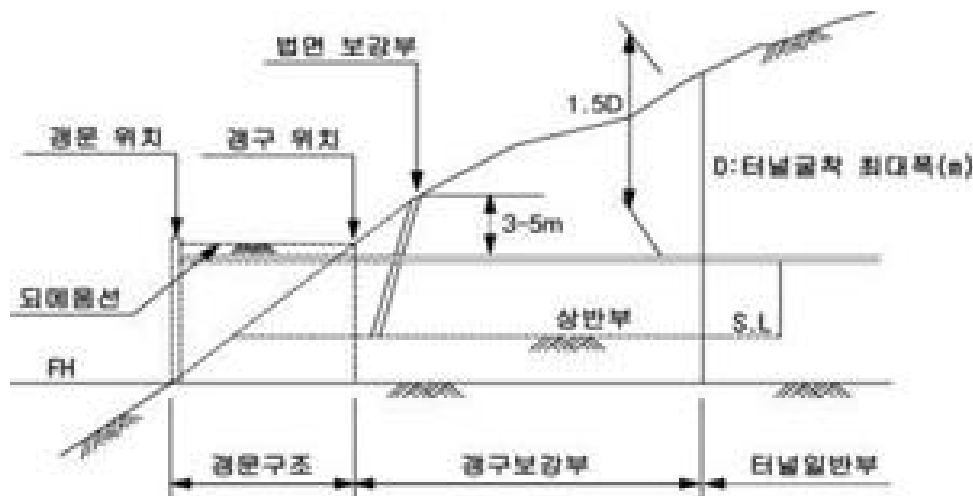


그림 8. 갱구부 위치 선정



2.3 갱구부 환경 검토

갱구부의 설계시에는 지반조건과 사회적 조건 이외에도 자연환경에 대한 검토가 충분히 이루어져야 한다.

갱구위치는 실제 지형·지반조건에 맞는 사전조사를 통하여 적절한 위치에 선정하여야 하나 공사비의 변동으로 인한 검토여건이 제한되어 있고 터널연장의 축소로 추가 환경훼손이 발생하는 사례가 많다. 즉, 지형의 과도한 훼손은 자연 기상재해(낙석, 눈사태 등)에 따른 주행열차의 안전성 및 쾌적성을 저해하고, 영구적으로 지형이 단절되는 주변경관과의 부조화된 결과를 초래할 수 있으므로 철저한 검토가 필요하다.

해설 7. 갱구부 설계

1. 지형 및 지반조건의 고려사항

- (1) 갱구는 가급적 비탈면과 직교하는 위치에 만들며, 터널공사용 굴착장비 및 설비의 배치공간도 고려한다.
- (2) 갱구 설치시 토피는 최소 3~5m 정도를 확보한다. 또 깎기면은 필요에 따라 숏크리트나 록볼트에 의한 보강을 하여 충분한 비탈면의 안정성을 확보한다.

갱구의 설치위치는 노선 선정상 제약을 받아 비탈면과 직교하기가 어려울 때도 있으나 이 때에도 터널 축선과 비탈면의 등고선과는 60°이상의 교차각도로 하는 것이 바람직하다. 또 갱구부 위치선정에 있어서는 가설, 공사용 도로의 설비계획을 충분히 감안 할 것과 높이나 계곡, 강과 평면적으로 교차하는 것은 적극 피하여야 한다.

갱구 설치에 있어서는 갱구비탈면의 안정도, 지내력, 터널 축선과 비탈면과의 관계, 시공법 등을 충분히 검토한 후 적절한 설계를 하여야 한다. 일반적으로 갱구비탈면은 원지반 조건이 불안정 하거나 자연 기상재해의 영향을 받기 쉬운 경우가 많다. 따라서 설계시에는 갱구 설치에 따른 원지반의 안정을 손상시키지 않도록 원지반의 이완을 극소화시켜야 한다. 또 갱구비탈면 설계 시에는 지형 및 지질조건, 주변환경을 고려하여 비탈면 깎기 높이를 최소화하고 공사 후에는 가능한 한 원지형을 복원하도록 하여 자연환경 훼손을 최소화하여야 하며, 환경친화적인 비탈면을 조성하기 위해서 인공적인 쌓기 지반, 경사갱구, 지반보강 등과 같은 대책을 적용할 수 있다.

갱구 설치에는 일반적으로 깎기가 따른다. 이 때 갱구 설치가 갱구비탈면에 미치는 영향, 주변 경관과의 조화, 갱구부의 시공법 등을 고려하여 적당히 토피를 확보하여야 하나 일반적으로는 지금까지의 실적을 토대로 볼때 갱구부 상단 토피 3~5m 또는 암토피고 1~2m 정도의 암피복 두께를 확보하여야 한다(<그림 8> 참조).

- (3) 산악터널의 갱문위치는 갱문 뒤 땅깎기 때문에 비탈붕괴 및 산사태 등 재해가 발생하지 않도록 현장조건에 적합한 곳으로 정하여야 하며, 낙석으로 인해 열차운행에 지장을 초래할 우려가 있는 지역에 대해서는 항구적으로 낙석에 의한 열차안전 운행에 지장이 없도록 터널길이를 연장하는 방안을 검토하여야 한다.

2. 깎기 비탈면 안정설계

2.1 조사

갱구부 설계를 위한 깎기 비탈면의 설계단계별 및 시공 중의 지반조사는 다음과 같으며 상세조사 내용 및 방법은 「KR C-12010 터널 조사 및 계획」을 따른다.

- (1) 기본설계 단계 : 예비조사(개략적인 지반분석 및 평가)
- (2) 실시설계 단계 : 본조사(상세조사로 최적설계자료 활용)
- (3) 시공 중 단계 : 보완조사(현장조건에 맞는 정확한 조사)



2.2 경험적인 갱구비탈면 설계

깎기 경사는 갱구 설치부의 시공성 및 원지반 조건에 따라 표준경사로 하는 것이 바람직하다. 비탈면 경사는 표준경사에 의해 계획한 후 이에 대한 안정성 검토를 실시하고 안정성이 확보되지 못한 경우에는 경사조정, 표면 보호공, 비탈면 보호공 등의 공법을 이용한 보강방안으로 비탈면의 안정화를 기하여야 한다.

갱구부 비탈면이 양호한 암질이고 적당한 비탈면 경사로 놓여 있을 때는 그 비탈면에 직접 갱구를 만들 수가 있다. 터널축선이 갱구비탈면에 비스듬히 교차하고 불안정한 원지반 상태에 있을 때는 쌓기를 미리 시행하고 비탈면의 안정을 도모한 후 터널 굴착을 하여야 한다.

또한 공사 중의 비탈면 안정을 위해 사용되는 보조공법에서 비탈면 슛크리트, 비탈면 보강 볼트, 원지반 주입 등이 있으나 이들의 설계방법은 다음과 같은 경험적인 방법에 의해 설계하고 있다.

- (1) 비탈면 슛크리트는 100mm 정도의 두께로 할 때가 많으며, 필요에 따라 철망을 병용하기도 한다.
- (2) 비탈면 보강볼트는 절리가 많은 원지반이나 풍화암에 대해 ①과 병용하여 사용될 때가 많다.

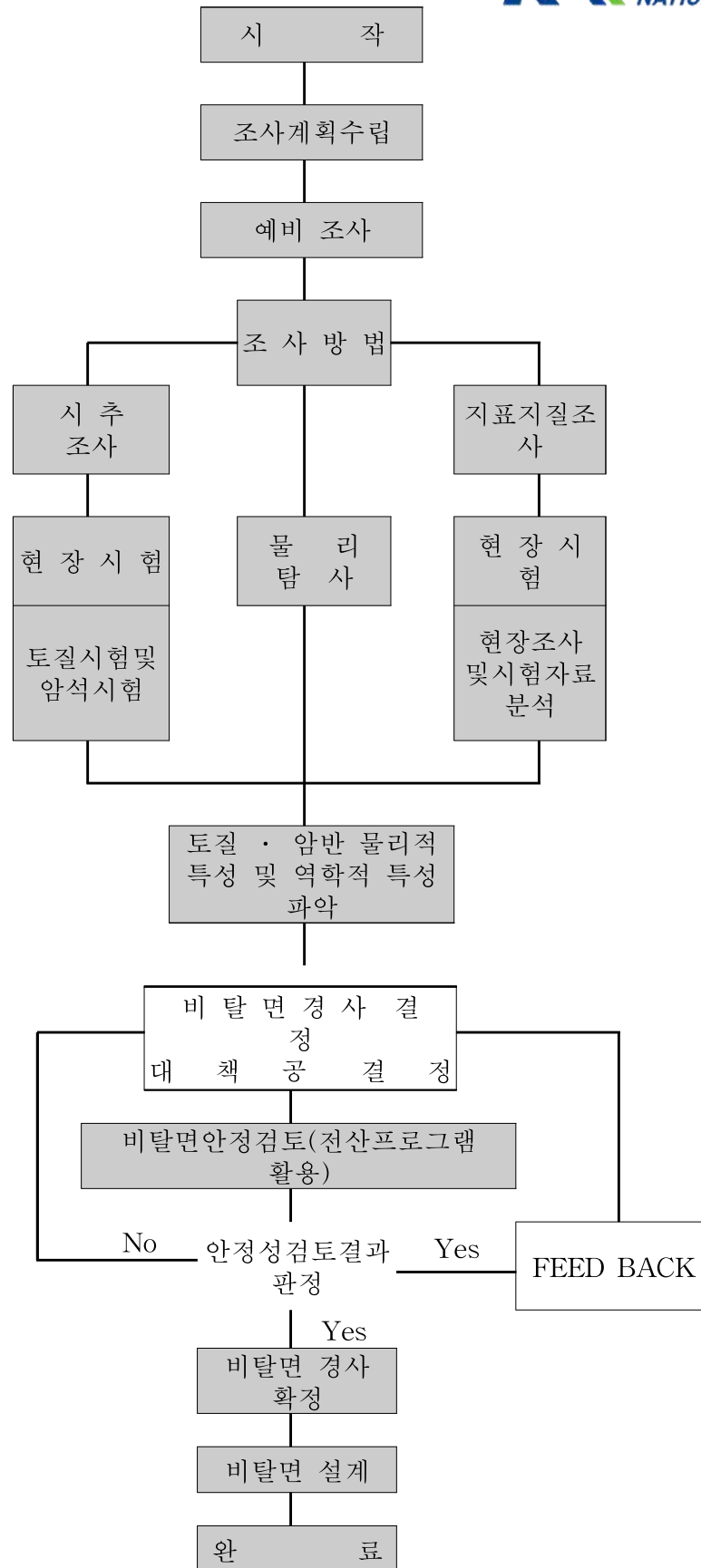


그림 9. 깎기 비탈면의 설계방법 흐름도



3. 갱구비탈면의 안정 대책

갱구비탈면은 조사된 지반상태에 따라 설계기준 경사를 적용하여 계획하고, 적절한 안정성 검토를 수행하여 그 결과에 따라 안정대책을 수립한다.

표 7. 안정검토를 필요로 하는 갱구부 깎기 비탈면

갱구부 지반 조건	안정 대책
침식에 약한 토질	수침시 전단강도에 의한 풍화도의 안정성 검토
고결도가 낮은 토사나 풍화암	배수대책과 안정검토
풍화가 급속히 진행된 암석	풍화가 빠른 암반에서의 안정검토
구성지반이 불적층 혹은 퇴적층인 경우	배수대책과 안정검토
현재까지 랜드슬라이딩이나 산허리붕괴의 이력이 있고 불안정한 상태에 있는 지반	현장정밀조사 후 안정검토
지하수위가 높고 용출수가 많은 곳	배수대책과 안정검토
주변의 기존구조물(철탑 등)에 나쁜 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우	보강대책

일반적으로 깎기 비탈면의 경우, 토층이 균질하다는 가정하에 안정해석이 이루어지고 있으나 암반비탈면의 경우, 불연속면의 조건에 따라 비탈면의 안정성 여부가 결정된다. 따라서 암반구간과 토사 및 풍화암구간을 구분하여 비탈면안정검토를 실시하여야 하며, 특히 암반비탈면 해석시는 암반절리와 절리면의 협재물의 상태를 감안한 절리면의 강도정수를 산정하여 해석에 사용하여야 한다.

토층 및 풍화암비탈면 안정해석은 비탈면안정 해석프로그램을 이용, 건기시와 우기시를 구분하여 해석을 실시하여야 한다.

암반비탈면의 안정해석은 현장 노출암에 대한 지표지질조사 및 시추조사의 암반불연속면을 고려한 평사투영 해석에 의해 평면, 켜기 및 전도파괴에 대한 개략적인 안정성 평가를 수행한 후, 그 결과 파괴가능성 내지 잠재적 파괴가능성을 가진 비탈면에 대하여 한계평형해석을 수행하여 그 안전율을 산출하여야 한다. 해석결과 안전율이 허용안전율에 미치지 못할 경우에는 비탈면경사를 조정하거나 보강대책을 수립하여야 한다.

4. 갱구비탈면 보강 및 보호공법

4.1 보강공법

갱구비탈면의 보강 안정대책은 설계안전율을 확보하는 것을 의미하며, 억지말뚝공, 앵커공, 쏘일네일링공(Soil Nailing), FRP보강공 등과 같이 지반의 저항력을 증가시키는 저항력 증가법(억지공)이 일반적으로 <표 8>과 같이 적용되고 있다.

표 8. 갱구비탈면 보강공법의 종류와 적용성

공법 종류	공 법 개 요	적 용 성
역지 말뚝	· 활동토괴를 관통하여 말뚝을 지지층까지 일렬로 설치함으로써 비탈면의 활동하중을 말뚝의 수평하중으로 기반암에 전달 · 말뚝과 주변지반 사이의 상호작용에 의해서 지지력이 결정되며 여타 역지공법과 같이 이용됨	· 일반적으로 강관말뚝을 사용함으로써 공사비가 타공법에 비해 고가 · 공사비 측면상 매우 불리
앵커 공법	· 고강도 강재를 앵커재로 하여 시추공 내에 삽입하여 그 라우트를 주입함으로써 앵커체를 지반에 정착시켜 앵커체 두부의 하중을 정착지반에 전달시키는 방법	· 일반적으로 많이 사용되는 공법으로서 적용효과가 양호하며 시공실적이 많은 편임
쏘일 레일링	· 인장응력, 전단응력 및 휨모멘트에 저항할 수 있는 보강재를 지반내에 조밀한 간격으로 삽입함으로써 원지반의 전체적인 전단저항력을 증가시킴	· 비탈면의 얇은 파괴 우려시 적용성이 높은 공법으로서 공사비가 비교적 저렴하고 시공성도 좋음
F R P 보강공	· 원지반 천공후 FRP 보강재 내에 패커를 설치하여 압력에 의해 결합재밀크를 주입함으로써 주입재에 의한 지반의 고결로 원지반의 전단강도 증대와 보강재에 의한 네일링(Nailing) 효과를 동시에 얻는 공법	· 풍화암 비탈면에도 적용이 가능하고 확실한 보강효과를 얻을 수 있음

4.2 보호공법

갱구부 암반비탈면 녹화공법은 자연복토공법, 녹생토공법, 텍솔녹화토공법, 암절개면 보호식재공법, 법면녹화 배토습식공법 등이 있으며, 각 공법별 특징과 적용성이 <표 9>에 설명되어 있다.

표 9. 갱구 암반비탈면 녹화공법의 종류와 적용성

구 간	개 요	적 용 성
자 연 복 토	자연토양을 주재료로 조성한 녹화 기반 토양을 액체상태로 비탈면에 분사 취부하여 녹화	· 생태 복원을 위한 산림표토 복원 · 표층붕괴 및 슬라이딩 억제 · 풍화암 및 발파암에 적용
녹생토 공법	식생이 불가능한 암반비탈면에 부착망을 앵커핀과 차지핀으로 고정시킨 후 토양개량제와 양잔디 씨앗을 혼합하여 뿌림	· 주요 경관지역 조기녹화와 낙석 방지 효과 · 발파암에 적용
텍솔녹화토 공법	녹생토공법과 유사한 토양개량제에 폴리에스터 연속장섬유를 추가 혼합하여 뿌림	· 주요 경관지역 조기녹화와 낙석방지 효과 · 화학섬유의 혼합으로 균열억제 · 토사, 풍화암, 발파암 모두 적용 가능
법면녹화 배토 습식공법	특정입도의 흙을 제조하고 알콜레진 601P 및 미생물 펄프를 이용하여 습식분사	· 주요경관지역 조기녹화 및 낙석방지 효과 · 토사, 풍화암, 발파암 모두 적용 가능

갱구부 토사비탈면 보호공법은 돌(블록)붙이기 공법, 녹화공법 등을 적용할 수 있다. 특히, 돌붙이기 공법은 1:1.0 기울기보다 완만한 비탈면에서 표면수나 지하수에 의해 유실이나 세굴이 발생하기 쉬운 구간에 적용하여야 한다.

공법 적용 높이는 3m 이내가 되도록 하며, 갱구 비탈면의 지형 및 지반조건, 강우조건, 침투수위 등을 고려한 안정성 해석을 통해 높이를 증가시킬 수 있다.



4.3 비탈면붕괴 및 낙석대책

편압이 작용하거나 비탈면활동, 낙석, 토석류, 홍수, 눈사태 및 안개의 영향을 받을 수 있는 위치에 갱구부를 설치하여야 하는 경우에는 주변환경을 최대한 보전하고 안정성을 확보할 수 있는 대책을 수립하여야 한다.

갱구 깎기 비탈면이 장기간 풍화, 동결·융해, 집중호우로 인한 비탈면붕괴 및 균열로 낙석이 발생하여 철도운행시 사고우려와 유지보수의 어려움이 예상될 경우에는 설계 계획시 갱문(갱구 구조물) 상단에 낙석방지책이나 파라펫트 등을 사전에 계획하여야 한다.

5. 토류 가시설 설계

갱구 계획으로 인하여 발생하는 토류가시설의 설계는 본 철도설계 지침 및 해설서 ‘제7장 지하구조물’을 따른다.

6. 갱구부 지보형식 선정

터널 갱구부의 설계는 다음과 같은 요인들에 의해 터널 일반부와는 달리 가급적 강한 지보구조로 설치하는 것을 기본으로 설계하여야 한다.

- 갱구부는 토피가 적고, 적당한 그랜드 아치가 형성되기 힘들다.
- 원지반이 갖는 강도를 효과적으로 이용하기가 힘들다.
- 전 토피하중이 토압으로 지보공이나 라이닝에 작용할 때도 있으며 작용토압의 벡터는 터널 축방향과 횡단 방향에 월등하나 일정치가 않다.
- 간혹 지진 피해가 생길 때가 있다.

터널의 지보 구조는 각 터널의 원지반 조건, 시공법, 시공순서, 지보의 목적을 고려하여 슛크리트, 록볼트, 강지보재를 단독 혹은 병합하여 설계하는 것이 일반적이다.

따라서 여기서는 갱구부의 기본적인 지보구조 설계패턴을 제시하며, 각 터널의 갱구 특성에 맞추어서 적절한 보조 공법을 사용하여 설계하는 것을 원칙으로 하여야 한다. 즉, 갱구부의 지보 구조는 갱속 터널 일반부의 설계, 시공법도 고려하여 강지보재 및 슛크리트를 주체로 하고 필요에 따라서 록볼트, 휘폴링을 원지반 조건에 따라 사용하기도 한다. 이들 지보 구조물의 설계방법은 「KR C-12030 터널 지보재」를 따른다. 갱구부의 지보 구조설계는 일반적인 사례로 <표 10>의 값을 표준으로 하여야 한다.

표 10. 갱구부의 지보패턴 표준

굴착 공법	1회 굴진 장	강지보재			쏟크 리트 두께	록볼트		라이닝두께		휘폴링			프리그 라우팅 강관단 단
		상반	하반	설치 간격		길이	설치 간격	측벽부 및 아치부	인버 트부	천공 길이	횡방향 간격	천공 각 도 및 지름	
상· 하반 분할 굴착	1.0m	규격은 터널규모와 지반상태에 따라 결정 (일반적 H=150사용)			160mm (강섬유)	4m	1.5× 1.0m	300~ 400mm	필요 시 설치	4~ 6m	0.5 ~ 0.6 m, 120°	5~ 10°, Ø=46 mm	필요시 채택

- (1) 록볼트는 레진형(Resin Type)과 모르타르형 2가지를 현장에서 시험시공을 거쳐 현장조건에 적합한 정착재료를 선정하여 사용할 수 있다.

표 11. 록볼트길이에 따른 레진 사용기준 “예”

록볼트 길이	레진형(Resin Type)			계
	0200	0203	0407	
	2배팽창, 초급결용	2배팽창, 급결용	4배팽창, 완결용	
3m	1본	1본	1본	3본
4m	1본	1본	2본	4본
5m	1본	1본	3본	5본

- (2) 록볼트의 재질은 SD350(항복점 350MPa 이상, 연신률 18% 이상)의 표준 이형철근을 원칙으로 하여야 한다(지름 25mm인 경우 항복하중은 170kN 이상이어야 한다).
단, 강도가 양호한 암반에서 변위량 20mm 이상일 때에는 항복점이 500MPa 이상의 제품을 사용하여야 한다. 또한 볼트의 지름은 25mm를 원칙으로 하여야 한다.
- (3) 록볼트는 오거, 해머와 드리프트 등을 이용하여 1000RPM 이상으로 20~30초간 회전 시키면서 볼트를 삽입하여야 한다.
- (4) 모르타르 배합표준

W/C	물	결합재
35 %	17.2kg	40kg

- (5) 휘폴링의 수량은 터널 단면내의 파쇄의 크기에 따라 설치수량을 가감할 수 있다.
- (6) 프리그라우팅은 파괴선(암괴의 활동가능영역)에 적합하게 사용하며, 암질에 따라 시행 하여야 한다.
- (7) 천공의 지름은 46mm, 길이는 4~6m로 한다.
- (8) 천공된 구멍은 그라우팅 전에 깨끗한 물로 깨끗이 청소하여야 한다.



- (9) 그라우팅의 기본 재료는 결합재이며 결합재량은 그라우팅의 효과에 따라 빈배합에서 부배합의 범위로 변경할 수 있다.
- (10) 그라우팅 압력은 그 양에 의해 점진적으로 증가 될 수 있으며 그 최대치는 1MPa이다.
- (11) 발파작업은 최소한 마지막 그라우팅 작업후 24시간 이내에 재 작업을 하여서는 안 된다.
- (12) 그라우팅은 암질과 그라우팅 효과에 따라 그 양을 조절할 수 있다.
- (13) 갱구부 라이닝은 여러 가지 불확실한 하중이 작용할 수 있으므로 철근 콘크리트 구조로 설치하는 것이 바람직하다.

갱구부의 지보패턴 표준은 비탈면 붕괴나 지표면 침하의 원인이 되는 지내력의 크기, 편토압의 정도, 막장부 천단의 붕괴 가능성, 지하수의 영향을 충분히 고려하여야 한다. 그리고 갱구부는 콘크리트라이닝을 철근으로 보강하기로 했으나, 갱문 뒷면 부근의 밝게 비치는 구간(갱구 설치부)은 상재하중, 갱문에 생기는 응력의 본체에 미치는 영향, 온도변화의 영향, 건조수축의 영향 등을 고려하여 철근 콘크리트 구조로 하여야 한다.

갱구부는 온도변화가 크고 건조수축에 따른 균열이 생기기 쉬운 점, 누수에 따른 결빙 등이 안전주행에 지장을 준다는 점을 고려하여 방수공사를 하는 것을 원칙으로 하여야 한다. 지보구조에 있어서는 방수공의 기능을 손상시키지 않도록 배려하여야 한다. 또 강지보재는 지보공사가 단일체로 하중을 받는 것을 피하고 연속된 모양으로 하중을 받는 구조로 하여야 하므로 지보공 상호간의 타이로드, 간격 고정 이음재로 견고하게 연결한 구조로 하여야 한다.

갱구부는 일반적으로 원지반의 안정도가 낮고 터널 굴착에 따라 그 안정을 잃을 때가 있다. 따라서 보통의 지보구조로는 터널의 안정을 확보하기가 곤란한 때나 시공의 안정에 지장을 줄 염려가 있을 때에는 보조공법의 적용을 고려할 필요가 있다.

갱구부의 보조공법은 그 사용 목적에 따라 여러가지가 있으므로 적용에 있어서는 사용 목적, 경제성, 시공성을 충분히 검토하여 채택하여야 한다. 일반적으로 사용되는 보조 공법을 시공할 때 예측되는 문제점으로는 <표 12>와 같다.

표 12. 갱구부 지보구조 설계시 예상되는 문제점과 보조공법

주요대책 \ 문제점	슬라이딩	비탈면 붕괴	지표 침하	막장부 붕괴	편토압	지지력 부족	기타
경사면 보호 공	○	○					
옹벽	○	○			○	○	
깎기 보호, 압성토	○	○			○		
수직 볼트	○	○			○		
앵커 공	○	○					
수발 공(지표, 터널내)	○	○		○			웰포인트 공법, 수발시추
지반주입(지표, 터널내)	○	○		○		○	샷크리트, 록볼트
막장 안정 대책			○	○			
임시 폐합(가인버트)			○	○		○	

주) ○는 일반적으로 사용되는 공법임

7. 갱구부 굴착공법

터널 갱구부의 굴착공법은 일반적으로 상·하반 분할로 굴착한다. 그러나 원지반 조건에 따라서는 상반의 지내력이 부족하여 침하하고 터널의 안정이나 원지반의 안정을 손상시키기가 쉬우며, 상반의 지내력이 너무 부족하여 지보재의 침하가 우려될 때나 편토압이 심하게 작용한다고 예측될 때에는 상반을 추가로 분할하는 공법(측벽선진도 갱 공법 등)을 적용하여야 한다. 또한 지형상 편토압이 심하게 작용할 때는 상반 굴착시 대응이 곤란하므로 토압에 저항할 수 있는 터널 구조로 계획하고 링컷(Ring Cut)공법, 중벽분할(CD)공법 및 측벽선갱공법을 사용하여야 한다.

8. 보조공법의 적용

굴착현장의 자립이 어렵고 시공 안전 및 주변 원지반의 안정을 심하게 손상시킬 염려가 있는 원지반에서는 현장 안정을 위해 보조공법 적용성을 검토하여야 한다.

터널 굴착보조공법은 보강목적에 따라서 ‘지반강화 및 구조적 보강’, ‘지수 및 배수를 위한 공법’으로 크게 나눌 수 있고, 다시 ‘터널 천단부 지반의 안정’과 ‘막장면 지지’의 목적으로 구분할 수 있다. 한 가지 보조공법으로 보강 목적을 만족하기 어려운 경우에는 두 가지 이상의 보조공법들을 병용하여야 한다.

지보가 그 목적과 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 굴착 후 지보를 시공할 때까지 지보 없이 굴착면이 안정을 유지하며 자립하고 있어야 한다. 이 굴착면의 자립시간(자립성)은 원지반의 공학적 성질, 굴착단면의 크기에 관계되며, 지보 없는 굴착단면이 커질수록 짧아진다. 따라서 지보의 시공에 필요한 충분한 자립 시간을 얻지 못할 때는 일반적으로 굴착단면을 작게 하여 터널을 몇 개의 부분으로 나누어서 굴착하는 시공 방법을 취한다(『KR C-12070 터널 굴착』해설 참조). 그러나 실제 원지반 상태는 일정하지 않고, 굴착 지점의 자립성이 나쁜 원지반을 만났을 때 시공법과 시공설비를 가급적 변경하지 않도록 각종 대책을 강구하여야 한다. 굴착한 곳의 안정을 위한 보조 공



법은 그 목적이 굴착할 곳의 천단 안정과 이미 굴착한 막장면의 안정으로 나누어 원지반 조건을 고려하여 설계하여야 한다. 이들 보조공법은 굴착 중의 원지반 거동을 판단하고 신속하게 조치할 수 있도록 사전에 원지반 조건에 따라 몇 개의 공법으로 설계하는 것이 바람직하다. 또 갱구부와 같이 당초부터 보조공법과 조합하여 지보를 설계하여야 할 경우에는 기본공법에서 설계한 다른 지보의 관계, 시공법, 시공설비 및 시공순서를 충분히 검토하여 합리적인 설계가 되도록 하여야 한다. 용출수가 많고 자립이 어려워 천단의 붕괴, 표석 낙하가 심하다고 생각할 때는 굴착한 곳의 안정 대책과 관련하여 우선 웰포인트, 심정공법 등으로 지하수를 배제함으로써 굴착한 곳의 안정과 고결도를 유지할 수 있다.

각 보조공법의 중요도는 지반조건, 지하수 상황, 터널의 용도, 터널의 규모 등에 따라서 상이하기 때문에 구체적인 보강공법의 활용 목적과 평가 방법을 명확히 설정한 뒤 지반조사 결과에 따라 현장 여건에 필요한 공법을 선정하여야 하며 시공방법과 잘 부합하도록 충분히 검토하여야 한다. <표 13>은 터널 굴착시 국내에서 주로 적용되어온 굴착보조공법의 적용성을 개략적으로 보여주고 있는데, 합리적인 굴착보조공법의 적용은 현장 상황에 따라 2개 혹은 3개의 지반 보강공법을 목적에 따라 병용하여야 한다.

표 13. 굴착보조공법의 적용성

대 책	목 적	공 법	원지반			비 고
			경암	연암	토사	
지반강화 및 구조적 보강	천단안정	파이프루프		△	△	
		경사 록볼트		△		
		휘폴링		△	△	
		강관보강형 다단 (1단) 그라우팅		△	○	
		약액주입공법			○	
	막장면, 바닥면 안정	막장면 슛크리트		△	○	
		막장면 록볼트		△	△	
		코어 핵		△	△	Ring Cut
		약액주입공법			○	
		가인버트		△	△	
용출수대책	지수/ 배수	약액주입공법	△	○	○	
		물빼기공	△	○	○	웰포인트, 심정공법포함
		웰포인트공법			○	
		심정공법			○	

주) ○ : 비교적 자주 사용되는 공법, △ : 보통 사용되는 공법

해설 8. 갯문 설계

갯문의 설계에서는 원지반조건, 주변경관과의 조화, 열차주행에 주는 영향, 유지관리상의 편의를 고려해서 갯문의 위치, 형식, 구조를 정한다. 특히 갯문 배면에는 낙석, 눈사태 등의 재해를 방지할 수 있는 대책을 고려하여야 한다. 또한 갯구 비탈면은 주변경관과의 조화, 열차주행에 주는 영향을 고려하여 수정하여야 한다. 또 자연 비탈면으로부터 본선으로 빗물이 들어오는 것을 막기 위해 적절한 배수공법을 적용하여야 한다.

1. 위치선정

갯문의 위치는 배후의 지형, 지반조건, 단면의 크기, 인접하는 흙막이벽과의 관계, 갯문부위, 시공방법 등을 충분히 고려하여 적절한 위치를 선정하여야 한다.

터널의 갯문은 일반적으로 갯구의 위치에 따라 결정될 때가 많다. 그러나 터널 개통 후에 낙석, 눈사태, 토사류 등의 자연 기상재해가 발생하기 쉬운 장소에 갯구를 설치할 때에는 이러한 재해와의 관계를 고려하여 갯문의 위치를 결정하여야 한다. 특히 갯문의 위치 결정에 있어서는 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 갯문의 위치는 지형의 횡단면이 터널 축선에 대해서 가능하면 대칭이 되는 위치로 하고 편도압을 받지 않도록 하여야 한다.
- 갯문의 위치는 높이나 시냇물과 교차하지 않도록 선정하여야 한다. 그러나 부득이할 때는 충분한 배수 시설물을 만들어 물을 처리하고 터널에 나쁜 영향을 주지 않도록 하여야 한다.
- 교량구조물과 근접할 때의 갯문위치는 원지반 조건을 고려하고 갯문기초의 지지력 분포범위와 교대의 굴착선과의 관련을 충분히 검토하고 터널에 나쁜 영향을 주지 않도록 하여야 한다.
- 갯문의 위치결정에서는 갯구부근에 계획된 장래의 유지관리시설의 배치에 대해서도 고려하여야 한다.

또한 인접구조물 등의 영향, 갯문에 연결되는 교량과의 위치관계 등을 고려하여 갯구의 위치를 결정하여야 한다. 이외에도 갯문 부위는 시공에 있어서 불안정한 경우가 많으므로 시공 방법을 충분히 검토할 필요가 있다. 또한 시공시나 시공 완료후에 작용하는 토압, 상재하중, 지진 등의 영향을 받는 경우가 있으므로 철근 등의 보강, 인버트의 단면을 폐합하는 등의 설계도 검토하여야 한다.

일반적으로 갯문의 위치를 산허리 깊숙히 선정하는 것은 갯문 배후 및 갯문에 접속하는 비탈면의 안정을 깨뜨리고 붕괴를 야기시켜 공사 진행이 매우 곤란하며, 장래 유지관리에 많은 노력을 요하게 되므로 가급적 피하는 게 좋다.

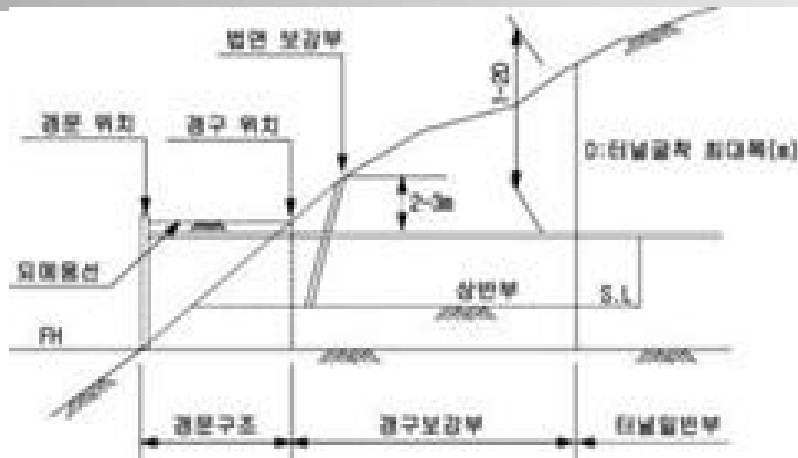


그림 10. 갯문위치

2. 갯문형식 선정

2.1 갯문형식 선정 고려사항

갯문은 지표 비탈면의 낙석 붕괴, 눈사태, 누수 등으로부터 갯문부를 보호하기 위한 것으로서, 갯문 자체에 변위, 침하 등이 생기지 않는 역학적으로 안정된 것이어야 하며 특히 열차 통과시 공기압의 감소 효과, 소음 방지, 갯문 자체의 미관, 주변의 조경 등을 복합적으로 고려하여야 한다. 또한 지반 조건이 허용하는 범위로 최소 토피 구간을 선정하여 자연환경 훼손을 최소화하여야 하며, 역학적으로 안정한 구조로 설계하여야 한다.

- 안정성 : 갯문은 갯구사면의 안정, 토압, 낙석 등에 대하여 안정적으로 설계
- 환경성 : 갯구부의 시공성 및 경제성, 미기압과, 주변 경관과의 조화 등을 복합적으로 고려
- 유지관리성 : 건설된 시설물이 제 기능을 유지하기 위하여 점검 등을 통해 사전에 유해요인을 제거하고 손상된 부분을 원상복구하여 터널 입·출구부의 유지관리 효율성을 증가시킬 수 있도록 설계

표 14. 갯문 설계를 위한 영향인자

구분	영향인자
안정성	· 지반조건, 지형조건(경사도, 편경사 등), 터널 천단부 토피고 등
환경성	· 주변 경관과의 조화, 절토량 최소화, 공기압(미기압과, 소음 등), 지표수 처리(배수계획), 기상재해의 영향(적설, 산사태 등) 등
유지관리성	· 유지관리 용이성, 기타안전시설(안전난간 등)

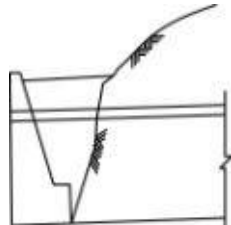
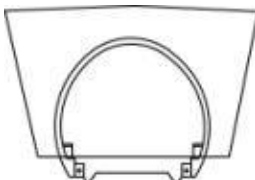
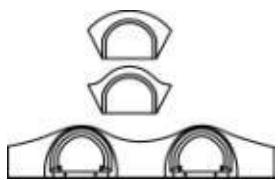
2.2 갯문의 종류 및 특징

갯문의 종류는 크게 중력형, 면벽형, 돌출형이 있다. 중력형은 비교적 경사가 급한 지형에 많이 적용되며, 면벽형은 면벽에 작용하는 외력은 터널 축방향의 토압과 같으므로 흙막이벽으로 설계하여야 한다. 돌출형은 갯구의 지형, 지질, 기상 등에 따라

터널의 라이닝을 채택하고 갯문 옹벽을 설치하지 않은 구조이므로 갯문부의 원지반을 이완시키는 일이 적고 안정성 및 미관이 좋으며 공기압의 감소 효과 등을 기대할 수 있는 매우 이상적인 형식이다. 한편 갯문부는 휨모멘트와 인장력이 작용하기 때문에 갯문 및 터널 콘크리트라이닝 설계시 필요에 따라 철근 등으로 보강하여야 한다.

갯문의 종류와 특징에 대해서는 일본도로공단사의 ‘설계요령’을 참고로 한 <표 15>와, 국내에서 <표 16>와 같은 형식의 갯문이 적용되고 있다.

표 15. 갯문의 종류와 특징

구분	중 력 형	면 벽 형	
	중력 · 반중력식	날개식	아치날개식
형식과 종류			
지반조건에 의한 적용성	· 비교적 경사가 급한 지형이나 토류 옹벽 구조를 필요로 하는 경우 · 낙석이 많다고 예상되는 경우 · 배면 배수 처리가 용이한 경우	· 양측면을 깎기할 경우 · 배면 토압을 전면적으로 받는 경우 · 적설량이 많은 경우에는 방설공을 병용	· 비교적 지형이 완만한 경우 · 좌 · 우측면의 깎기가 비교적 적은 경우
시공성	· 지반이 불량할 때는 깎기량이 많아지므로 배면깎기 비탈면의 안정 대책 필요	· 지반이 불량할 때에는 깎기량이 많아지므로 배면깎기 비탈면의 안정 대책 필요 · 터널 본체와 일체화된 구조로 계획	· 지형에 따라서는 일부 터널외 라이닝이 필요 · 다소의 쌓기 보호 필요
경 관	· 정면벽의 휘도저하를 고려할 필요 있음 · 중량감이 있어 안정감이 있음	· 정면벽의 휘도저하를 고려할 필요 있음 · 지형 상황에 따라서는 각을 줄이는 경우도 있지만 이화감(異和感) 방지 필요	· 아치부의 곡선이 주변 지형과 조화 필요



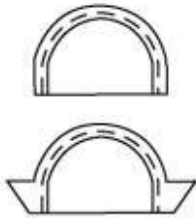
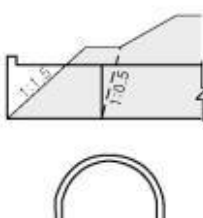
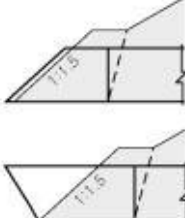
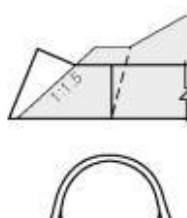
구분	돌 출 형			
	파라페트식	돌 출 식	원형절개식	벨마우스식
형식과 종류				
지반조건에 의한 적용성	• 능선끝단의 지형에서 좌우 구조물과 관계가 적은 경우 • 적설지에 가능 • 갭문 주변 지질이 비교적 안정되어 있는 경우	• 압성토를 시공할 경우 • 갭문 주변의 지반조건이 좋지 않을 경우 • 적설지에도 가능 • 갭문 주변 지형의 깎기 등 성형이 비교적 용이한 경우	• 갭문 주변의 지형이 완만한 경우 • 주변을 조경할 필요가 있음 • 적설지에는 날아들어오는 눈이 많이 쌓이기 쉬움	• 지형 지질이 비교적 양호하고 갭문 주변이 열려 있는 곳에 가능 • 적설지에는 날아들어오는 눈이 많이 쌓이기 쉬움
시공성	• 터널 본체 구조물을 갭문까지 길게 연결필요	• 지형, 지질이 안정되어 있는 경우는 가장 경제적이지만 지반조건이 불량하여 압성토를 필요로 할 경우에는 두께를 두껍게 하여야 함	• 거푸집 및 배근 등 구조물 공사비가 고가	• 특수 거푸집을 필요로 하고 공기도 상당히 필요 • 구조물 공사비가 고가
경관	• 면벽 구조가 아니기 때문에 터널 갭문 주변 지형과 비교적 일치함	• 면벽 구조가 아니기 때문에 터널 갭문 주변 지형과 비교적 일치함	• 주변 지형을 조경함으로써 갭문과 조화를 이룸	• 주변 지형과 조화를 이룸

표 16. 갯문의 종류와 특징(국내)

구분	중 력 용 벽 식	원 통 절 개 식
장점	- 터널 갯구부 시공이 용이 - 터널 상부 되메우기가 불필요 - 터널 상부에서 유하하는 지표수에 대한 배수 처리가 용이	- 터널 진입시 위압감이 적음 - 주변 지형과 조화를 이루어 미관이 수려
단점	- 인위적 구조물 설치에 따른 주변 경관과의 조화를 이루기 어려움 - 정면벽의 휘도 저하를 고려할 필요가 있음	- 갯구부 개착 터널 길이가 김 - 갯구부 터널 상부에 인위적인 쌓기 필요 - 터널 상부 지표수에 대한 배수 처리 필요
적용 지형	- 갯구부 지형이 횡단상 편측으로 경사진 경우 - 배면 배수 처리가 용이한 지형 - 갯문이 암층에 위치한 경우 - 갯구부 지형이 종단상 급경사인 경우	지형이 편측 경사가 없고 갯문 전면 깔기가 적어 개착 터널 설치 후 자연스럽게 조화를 이룰 수 있는 지형

2.3 갯문의 형식 선정

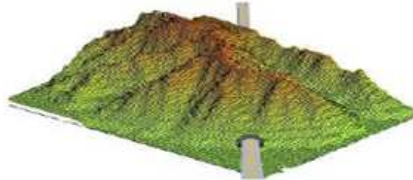
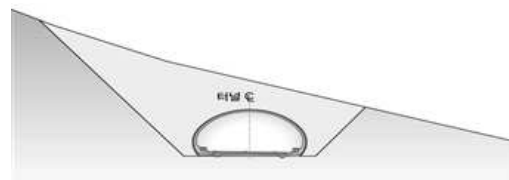
갯문형식은 지형 및 지반조건, 주변 환경 및 경관, 유지관리성 등을 고려하여 선정하여야 한다. 이러한 설계 영향인자들은 건설현장이 갖고 있는 지형적 특징에 따라 다르게 적용될 수 있기 때문에 각 지형 및 현장조건에 맞는 갯문형식을 선정하는 것이 중요하다.

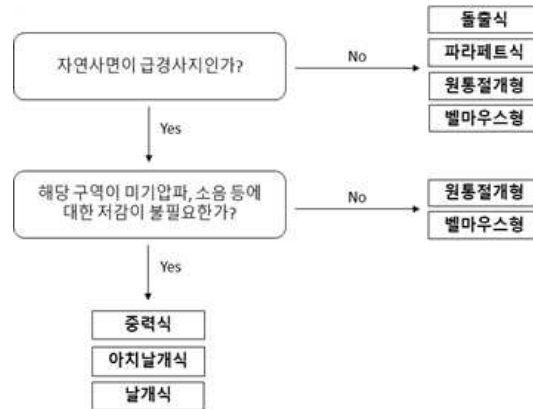
이에 <표 17>에 따라 경사면 직교형, 골짜기 진입형, 경사면 경사교차형 및 평행형으로 분류하고, <그림 7>과 <표 18>을 활용하여 갯문형식을 선정하는데 참조할 수 있도록 하였다.

다만, 갯문형식 선정시 열차속도에 따른 미기압과의 영향을 고려하여야 할 경우 원통절개형, 벨마우스형 등의 갯문형식을 우선적으로 검토하여야 하며, 현장여건에 따라 설계자의 판단에 의해 갯문형식을 변경할 수 있도록 한다.



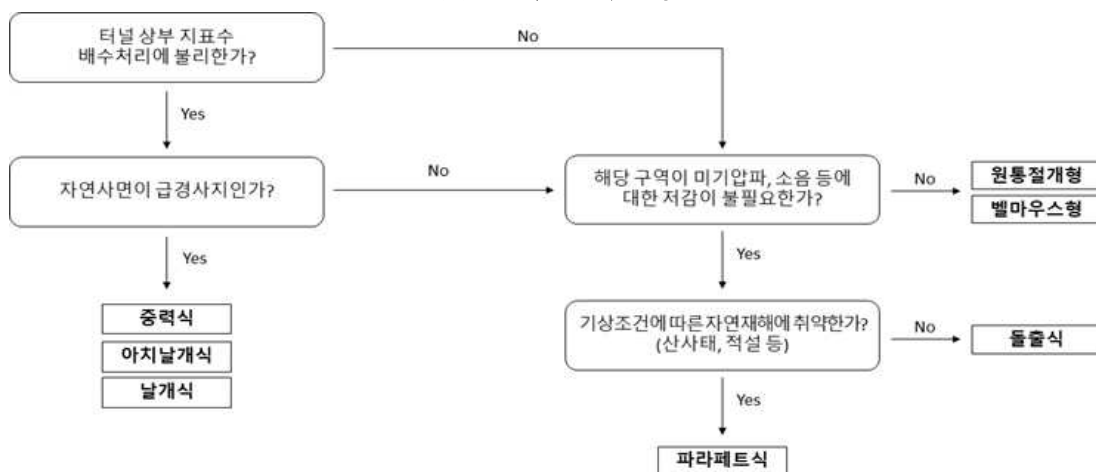
표 17. 갱구부의 지형적 특징 (출처:도로설계요령, 2020)

구분	지형	개요
경사면 직교형		
	• 노선이 경사면과 직교하는 이상적 형태 : 갱문 형성 시 좌·우 대칭 지형 갱문 주변 절토 최소화 및 비탈면 경사와 지형 윤곽선을 고려한 갱문 형태 설정 유리 • 주행 시 갱문 주위 시야 확보 유리	
골짜기 진입형		
	• 급경사가 많고 지하수위가 높으며, 토사 붕괴 등 자연재해가 발생하기 쉬운 유형 • 골짜기를 형성하는 경사면 경사도에 따라 갱문 형태 다양	
경사면 경사교차형		
	• 노선과 갱수 경사면이 비스듬히 교차하는 지형 : 비대칭 절취 비탈면 발생 • 갱문주변 절취가 많으며, 비탈면 경사와 지형 윤곽선을 고려한 갱문 형태 설정 불리 • 갱구 비탈면 안정성 확보를 위해 옹벽 등 인공구조물 필요	
경사면 평행형		
	• 노선과 갱구부 경사면 교차 각도가 매우 작은 경우 : 비대칭적인 절취면 발생 • 편토압에 대한 검토 필요 • 비탈면의 경사와 지형 윤곽선을 고려한 갱문 형태 설정 불리 • 옹벽 및 BOX 형태의 피아트널 시공 사례가 다수	

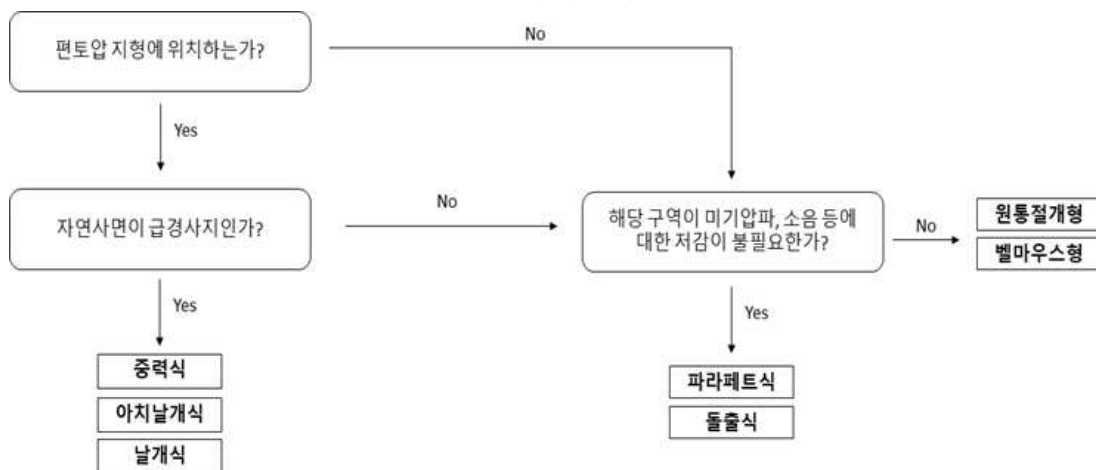


* 급경사지 : 「급경사지에 대한 재해예방에 관한 법률」에 따라 경사도 34°이상인 비탈면

(a) 경사면 직교형



(b) 골짜기 진입형



(c) 경사면 교차형 및 평행형

그림 11. 갱문형식 선정 흐름도



표 18. 갯문형식 선정 기준

구분	중력형	면벽형		돌출형			
	중력식	날개식	아치 날개식	원통 절개식	벨마우스식	돌출식	파라페트식
사면경사 (급경사)	○	○	○	×	×	×	×
편토압 지형	○	○	○	×	×	×	×
기상재해에 따른 영향	○	○	○	×	×	○	△
미기압과의 영향	×	×	×	○	○	△	△

○ : 좋음, △ : 보통, × : 나쁨

3. 조경 설계

3.1 터널갯문부의 조경설계 개념

- (1) 주변 수림대와 조화되게 식생을 복원하고 주변 지형지형과 터널 형태등 조건변화에 대응하여 식재
- (2) 갯구 상단부는 관목으로 입출구부를 보호하고 조기녹화와 유지관리가 쉬운 수종 선정
- (3) 터널 구조물에 접하여 관목을 열식 및 군식하여 낙석 및 토사 유출방지

3.2 식생

터널갯문부의 수목은 강한 바람에 따라 전도되거나 꺾이지 않는 수종을 선정하여야 한다.

표 19. 바람의 피해에 불리한 수종

구분	수종명
쓰러지기 쉬운 수종	아카시, 양버즘, 버드나무, 미류나무류
줄기가 꺾이기 쉬운수종	아카시나무, 버드나무
가지가 꺾이기 쉬운나무	소나무, 가시나무, 잣나무, 밤나무, 녹나무

터널상단부 조경 식재간격은 수목의 특성을 고려하여 배치하여야 한다.

표 20. 조경수목 시재간격(관목기준)

규격	군식(m*m당)	1열	2열
W=0.3m	16~18주	5~6주	9~10주
W=0.4m	9~10주	4~5주	7~8주
W=0.5m	5~6주	3~4주	5~6주

조경수종 선정시 토양,지형 기후등 주변 환경을 고려하여야 한다.

표 21. 토양산도와 수목

토양산도	적응수종
4.0~5.5	호랑가시나무, 철쭉류, 싸리나무
5.0~6.0	치자나무
5.5~7.5	황매화, 죽도화, 팽팡나무, 개나리
6.0~7.0	장미, 사철나무
6.0~7.5	무궁화, 병꽃나무, 인동덩굴, 수수꽃다리, 회양목

해안가에 인접한 갯구부에는 내염성이 강한 수종을 선정하여야 한다.

(1) 개착터널 구간의 자연복원을 위한 설계요령

- ① 터널공사로 인한 훼손부에는 자연복원방안을 수립하여 환경피해를 최대한 방지하여야 한다.
- ② 복원계획은 기본적으로 깎기구간과 원지형이 연속된 지형을 이룰 수 있는 복원(복토)이 가능하도록 개착 터널의 규모를 결정하여야 한다.
- ③ 개착터널 설계시 원지형에 맞추어 복토가 될 수 있도록 구조해석을 수행하여 개착 터널 및 갯문의 안정성을 확보하여야 한다.

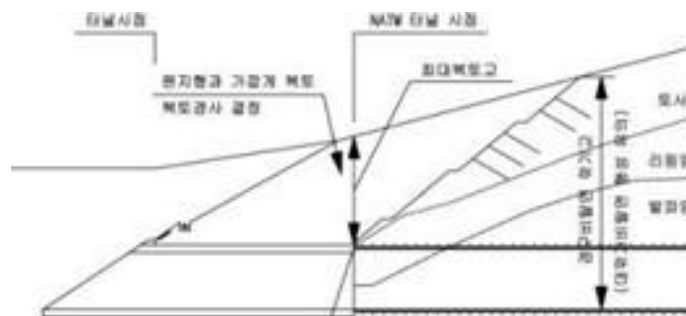


그림 12. 갯구부 복원 개념도



해설 9. 터널단면 확대 설계

단선터널과 복선터널 기본단면에서 대피소, 신호기, 전철기, 변압기, 터널내 교행역 및 대피역 설비 등 시설을 위하여서는 터널단면을 확대하여야 한다. 이 경우 시공성, 경제성 및 유지관리 등의 목적에 따라 터널 기본단면에 비하여 단면이 커지고 복잡하며 특수한 형상으로 계획되므로 그 기능과 지반조건을 고려하여 터널과 주변지반의 안정을 확보할 수 있도록 설계하여야 한다.

1. 단면 확대구간 결정

(1) 터널단면의 확대구간의 결정은 다음의 (2)항에 열거한 경우에 대하여 확대를 실시하는 것을 원칙으로 하며, 철도운행과 지반상태에 따른 확대 단면의 거동에 대한 종합적인 검토결과에 따라 철도운영의 원활과 구조물의 안정성이 확보 될 수 있는 위치로 결정되어야 한다.

(2) 단면 확대구간

표 22. 단면확폭부와 접속부의 구분

구 분	단면확폭부	접속부
철도 터널	• 분기기 설치구간 • 구난정거장 구간 • 단복선 변화구간 • 정거장 구간 • 신호장 구간	• 변압기 설치구간 • 대형대피소 설치구간 • 환기용 및 대피용 터널 설치구간 • 연직갱 설치구간 • 단복선 연결구간 • 경사갱 설치구간
도시철도 터널	• 정거장 구간 • 유치선 구간 • 신호소 설치구간 • 단복선 변화구간	• 단복선 연결구간 • 변전실 설치구간 • 대피용 터널 설치구간
기 타	• 일반부보다 확폭된 단면이나, 터널 간 접속되는 구간	

(3) 단면 확대구간 설치 범위

- ① 단면 확대구간은 단면 변화구간에서부터 시작되며 여유를 고려하여 설치구간을 설정하여야 한다.
- ② 단면 확대는 일반적으로 단면 변화구간 전후로 20m씩 연장하여 계획하는 것을 원칙으로 하여야 한다. 다만, 곡선반경과 캔트량을 고려하여 확대길이 및 폭을 축소할 수 있다.
- ③ 완화곡선을 설치할 경우는 궤도중심에서 측벽까지의 건축한계 확대는 완화곡선시·종점 외방(外方) 20m지점에서 행하는 것을 원칙으로 하여야 한다. 다만, 완화곡선반경 및 캔트체감량을 고려하여 확대길이 및 폭을 축소할 수 있다.

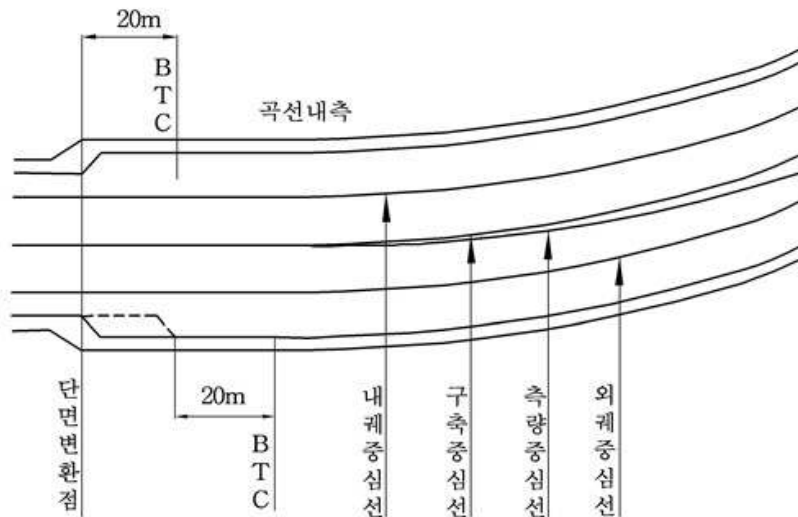


그림 13. 단면 변화점

- ④ 완화곡선을 설치하지 않을 경우는 구축 중심선(構軸 中心線)을 기준으로 하여 캔트 시·종점 외방(外方) 20m 부근의 중앙주(中央柱) 중심위치를 단면변환점으로 하여 확대하여야 한다. 다만, 캔트체감량을 고려하여 확대길이 및 폭을 축소할 수 있다.

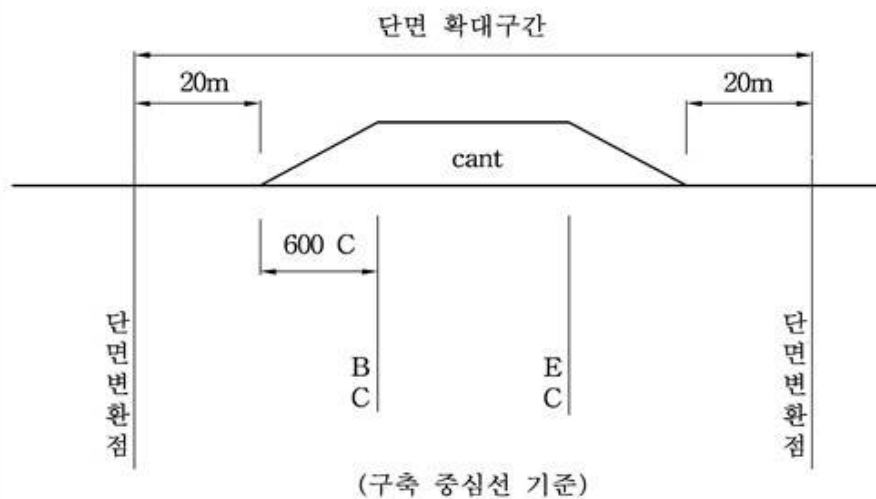
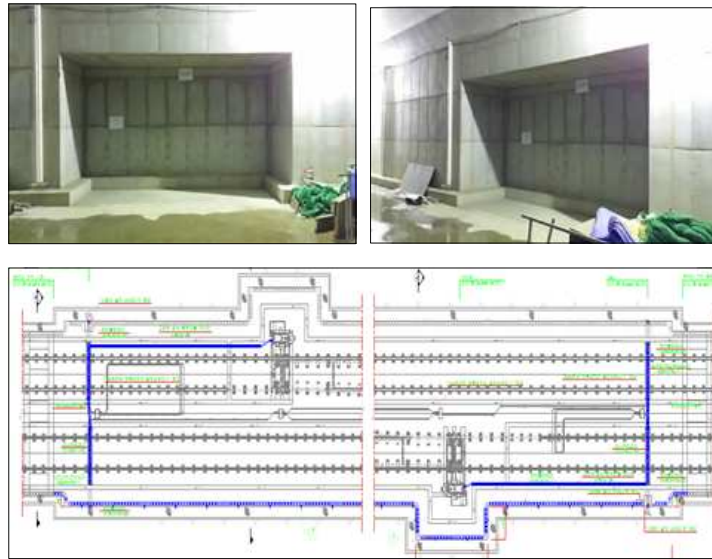


그림 14. 단면 확대구간

- ⑤ 대피소, 신호기, 선로전환기, 변압기 등 터널내 설치되는 기기 및 공간은 관련규정 이상으로 하여 설치·보수 등 유지관리 공간을 확보하여야 한다.
- ⑥ 유지관리 공간의 형상 및 규모 등은 경제성, 시공성, 사용성 등을 고려하고 궤도 및 시스템분야와 사전 협의하여 결정하여야 한다.



그림 15. 유지관리 공간 설치사례(김포도시철도)



2. 확대구간 단면계획

- (1) 확대구간 단면은 터널목적 및 기능에 따라 소요 건축한계와 선형조건에 따른 확폭량, 터널내 제반설비의 시설공간, 유지관리에 필요한 여유폭 등을 종합적으로 고려하여 정하여야 한다.
- (2) 건축한계는 제시되는 철도규정에 따라 선정하여야 한다.
- (3) 터널의 내공단면 계획시에는 지형 및 지반조건, 토피 정도에 따라 대단면 터널로의 채택여부를 충분히 검토하여 안정성, 시공성 및 경제성을 확보하여야 한다.
- (4) 지반조건이 열악하고 주변여건상 터널시공이 장래 문제를 유발할 가능성이 있는 지역에서는 위치를 변경하여 계획하는 것이 바람직하다.
- (5) 터널의 단면계획은 내공단면을 기준으로 하여 지보재의 총두께, 콘크리트라이닝의 두께 및 허용편차를 고려하되, 구조적으로 유리한 형상으로 결정하여야 한다.
- (6) 확대구간내의 터널 내공단면은 가급적 동일한 규격 및 형상으로 표준화하여 시공성을 높일 수 있도록 계획하여야 한다.

3. 단면 확대구간 지보형식

- (1) 터널단면 확대는 시공과정에서 단면의 형상이 여러형태로 변화하므로 이를 고려하여 변화된 터널단면의 안정성을 확인하여야 한다.
- (2) 단면 확대구간 지보 계획시 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 기본단면과 변화단면 접속부(연결부)에 집중되는 응력에 대한 대책
 - ② 접속부(연결부)에 적합한 배수계획을 수립하여 잔류수압 발생을 최소화
 - ③ 접속부(연결부) 특징을 고려한 보강계획

- (3) 지보계획은 지반 평가등급보다 한단계 하향조정하여 안정성을 고려한 지보량을 적용 하여야 한다.
- (4) 확대범위가 크지 않을 경우에는 지반조건을 파악하여 지보패턴의 변경으로 대체할 수 있다.
단, 이 때에는 지보재 증가수량을 합리적으로 산정하여야 한다.
- (5) 확대범위가 클 경우에는 기본 지보패턴을 기본으로 하는 새로운 보강패턴에 대하여 철저한 검토 및 해석을 병행하여 검증을 걸쳐 결정되어야 한다.
- (6) 확대단면을 고려하여 콘크리트라이닝 검토를 실시하여 설계에 적용하여야 한다.

4. 단면 확대구간 시공순서

- (1) 확대구간의 시공순서는 확대단면의 크기, 확대단부의 공간처리, 지반조건, 공기 등을 고려하여 설계하여야 한다.
- (2) 단면 확대가 부득이 하게 지반조건이 불량한 위치에 계획된 경우에는 별도의 상세한 지반조사를 실시하고, 이를 근거로 터널의 안정성 검토를 시행하여야 한다.

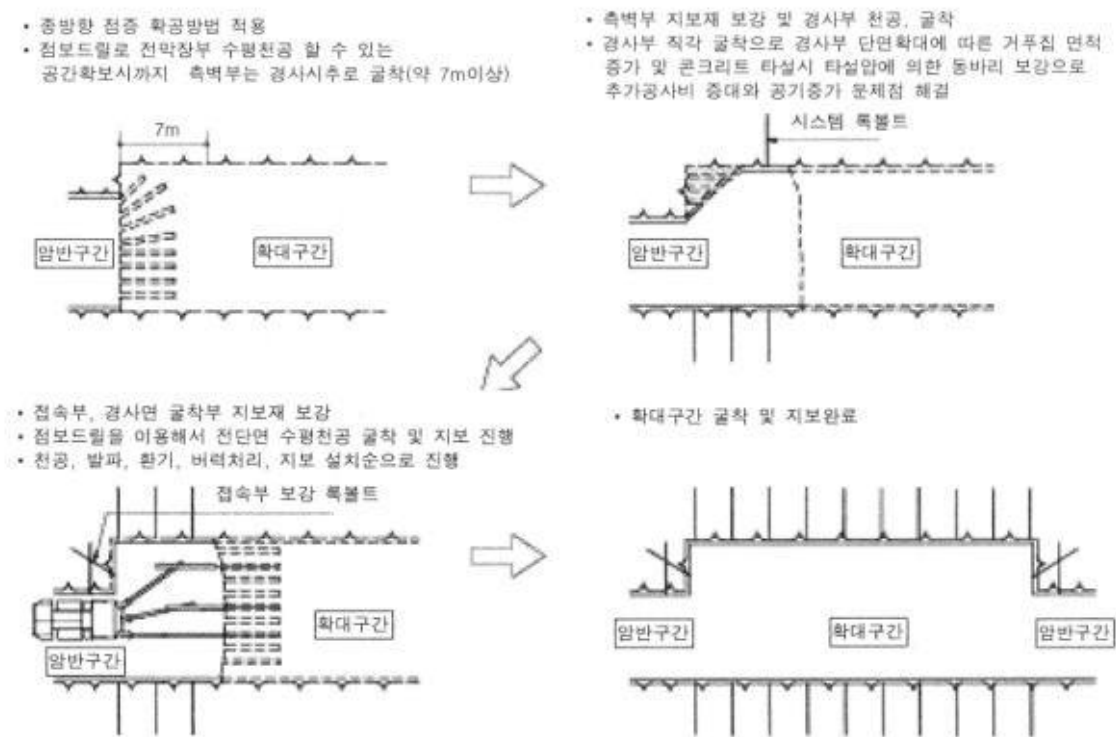


그림 16. 단면 확대구간 보강방안



해설 10. 접속부의 구간 설계

접속부의 보강범위는 접속각도 90° 인 경우 접속터널은 접속터널 최대폭(D)의 1D, 본선터널은 본선터널 최대폭(D)의 1D를 표준으로 하는 것을 원칙으로 하되, 상세검토를 통하여 보강범위를 별도로 선정할 수 있으며, 기타 접속각도의 경우 접속각도에 따른 응력 집중 및 증가를 검토하여 보강범위를 선정하여야 한다.

RECORD HISTORY

- Rev.0('12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.
- Rev.1('13.09.16) 창의혁신과제 “터널 갱구부 시공방법 개선을 통한 사업비 절감” 결과반영 (강원본부 건설처-7846, '13.6.3) 및 유지보수요원의 안전한 통행 및 낙석 방지 등을 위하여 갱문 상부에 안전시설 설치(설계기준처-2880, '13.9.16)
- Rev.2('15.02.02) 지하철과 같이 곡선반경이 적고 완화곡선장이 짧아 캔트체감이 직선부까지 확폭이 필요한 경우에 적용하는 내용이므로 곡선반경이 크고 완화곡선장내에서 캔트체감이 충분한 일반철도, 고속철도 경우 확대길이 및 폭 조정 가능
- Rev.3('16.12.23) 유지관리 공간이 경제적이고 적정하게 확보될 수 있도록 참고용으로 설치사례 제시 * 자체감사(수도권본부 종합감사) 지적사항('16.6.20)
- Rev.4('17.10.27) 국토교통부 철도안전점검관 지적사항(안전난간 세부기준 제시) 반영
* 관련문서 : 안전품질실-4266호('17.8.10)
- Rev.5('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-12080 갱구부	⇒ (코드 간 통합)	KR C*12005 터널 설계개요
KR C-12090 단면확폭부 및 접속부		
KR C-12100 연직갱 및 경사갱		

- Rev.6('26.08.13) 터널 갱문 상부 유지관리요원 안전시설 설치 및 갱구부 비탈면 돌출임공 적용에 관한 사항 반영(심사기준처-3342, '26. 8. 12.)