

KR C-12040

Rev.3, 3. March 2021

콘크리트 라이닝

2021. 03. 03



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. 콘크리트라이닝의 역할	2
3. 콘크리트라이닝의 재료 및 강도	2
4. 콘크리트라이닝의 형상 및 두께	3
5. 인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치	3
6. 균열방지대책	4
7. 터널바닥처리	4
8. 터널천장부 콘크리트라이닝 뒤편 채움	4
9. 동결피해 대책	5
 해설 1. 콘크리트라이닝의 설계일반	6
1. 콘크리트라이닝의 역할	6
1.1 공용성 측면	7
1.2 강도 특성 측면	7
2. 설계하중의 산정과 적용	9
2.1 콘크리트라이닝 설계시 고려해야할 하중	10
2.2 배수형 방수형식 터널에서의 설계 하중조합	11
2.3 비배수형 방수형식 터널에서의 설계 하중조합	12
2.4 콘크리트라이닝의 작용수압	12
3. 콘크리트라이닝의 해석	13
3.1 강도설계법	13
3.2 대체설계법	15
3.3 각 설계법의 비교	17
4. 콘크리트라이닝의 이음부 처리	18
5. 철근 콘크리트라이닝의 시공 중 철근전도방지대책	18
 해설 2. 콘크리트라이닝의 재료 및 강도	19
1. 콘크리트라이닝의 재료	19
2. 콘크리트라이닝의 강도	19
3. 콘크리트라이닝의 보강	20
 해설 3. 콘크리트라이닝의 형상 및 두께	21

1. 콘크리트라이닝의 형상	21
2. 콘크리트라이닝의 두께	22
2.1 라이닝 두께의 설계	22
2.2 콘크리트라이닝 두께의 허용량	22
2.3 소단면 콘크리트라이닝의 두께	23
3. 콘크리트라이닝의 품질관리	23
4. 콘크리트라이닝의 거푸집	24
4.1 콘크리트라이닝 거푸집의 설계 및 설치	24
4.2 콘크리트라이닝 거푸집의 제거	24
4.3 터널 천장부의 처리	24
해설 4. 콘크리트라이닝의 균열방지대책	26
1. 콘크리트라이닝의 균열발생원인	26
2. 콘크리트라이닝의 균열방지대책	27
해설 5. 인버트 형상과 처리	29
1. 인버트형상 및 설치	29
2. 터널인버트 처리	29
해설 6. 콘크리트라이닝의 뒤편 주입	30
1. 뒤편 주입의 역할	30
2. 뒤편 주입공의 배치	30
3. 뒤편 주입재 및 주입압	31
RECORD HISTORY	32

1. 용어의 정의

이 설계기준에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (1) 록볼트(Rock Bolt) : 굴착암반면의 보강을 위하여 삽입하는 볼트이며, 암반을 일체화 함으로써 원지반의 안정을 위하여 설치한다. 록볼트의 정착방식에는 선단정착방식, 전면정착방식 및 병용방식.
- (2) 바닥부 : 터널단면의 바닥부분.
- (3) 섬유보강 쏿크리트(Fiber Reinforced Shotcrete) : 쏿크리트의 역학적인 특성을 보완하기 위하여 강(Steel) 또는 기타 재료의 섬유를 혼합하여 타설하는 쏿크리트.
- (4) 세그먼트(Segments) : 터널, 특히 쉘드터널공법에 사용되는 라이닝을 구성하는 단위 조각으로, 재질에 따라 강판을 용접한 강재세그먼트, 철근콘크리트제의 콘크리트 세그먼트, 주조에 의하여 제조된 주철 세그먼트 및 콘크리트 세그먼트의 단면에 지벨이 붙은 강판을 배치한 합성 세그먼트 등.
- (5) 쏿크리트(Shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 부착시켜 시공(타설)하는 콘크리트.
- (6) 여굴 : 터널굴착공사에서 계획한 굴착면보다 더 넓게 굴착된 것을 말한다.
- (7) 용출수 : 터널의 굴착면으로부터 용출되는 지하수.
- (8) 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.
- (9) 절리 : 암반에 존재하는 비교적 일정한 방향성을 갖는 불연속면으로서 상대적 변위가 단층에 비하여 크지 않거나 거의 없는 것을 말하며 성인은 암석 자체에 의한 것과 외력에 의한 것.
- (10) 접속부 : 단면의 형태 및 규모가 같거나 다른 터널이 서로 접속되는 구간.
- (11) 지지보재 : 굴착 후 시공하는 지보재로서 보조지보재 및 콘크리트라이닝을 제외한 지보재의 총칭이며 강지보재, 쏿크리트 및 록볼트 등으로 구성.
- (12) 지반 : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분.
- (13) 지반조건(Ground Condition) : 터널주변 지반의 지형, 지질, 수리·수문 조건 등.
- (14) 지보재 : 굴착 시 또는 굴착 후에 터널의 안정 및 시공의 안전을 위하여 지반을 지지, 보강 또는 피복하는 부재 또는 그 총칭을 말한다.
- (15) 천장부(Crown) : 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간.
- (16) 측벽부(Wall) : 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간.



- (17) 콘크리트라이닝 : 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근 콘크리트의 터널부재.
- (18) 토피 : 터널 천장으로부터 지표까지의 연직두께를 말한다.
- (19) 팽창성 지반 : 터널굴착 시 팽창으로 인하여 문제를 일으키기 쉬운 지반으로써, 제3기층의 열수 변질을 받은 화산분출물, 팽창성 이암 및 온천 여토 등.
- (20) 편압 : 터널 좌우 또는 전후 방향으로 불균등하게 작용하는 지반압력을 말한다.
- (21) RMR(Rock Mass Rating) 분류 : 비에니아스키(Bieniawski)가 제안한 정량적인 암반 분류방법이며 암석강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면 상태, 지하수 상태, 불연속면의 상대적 방향 등을 반영하여 암반 상태를 분류하는 방법.

2. 콘크리트라이닝의 역할

- (1) 콘크리트라이닝은 터널이 계획된 지역주변의 지반상태, 환경조건 및 주지보재의 지보능력을 고려하여 사용목적 및 사용조건에 적합하고 내구연한 동안 필요로 하는 안정성과 누수 등에 의한 침식이나 강도의 감소 등이 없는 내구성을 가지도록 설계해야 한다.
- (2) 콘크리트라이닝은 다음과 같은 기능을 보유하도록 설계해야 한다.
 - ① 내구연한 동안 구조체로서의 역학적 기능
 - ② 비배수형 방수형식 터널에서의 내압기능
 - ③ 터널 내장재로서 미관유지 기능
 - ④ 터널내 점검 및 보수 관리 기능
- (3) 콘크리트라이닝의 타설 시기는 굴착 후 지반 및 지보재의 지지능력 저감을 감안하여 가능한 조속히 시공토록 계획해야 한다.
- (4) 비배수형 방수형식 터널에서는 콘크리트라이닝에 수압이 작용하므로 수압을 고려하여 설계해야 한다.

3. 콘크리트라이닝의 재료 및 강도

- (1) 콘크리트라이닝에 사용하는 재료는 터널 사용목적에 적합해야 하며 일반적으로 현장 타설 무근 또는 철근 콘크리트를 사용할 수 있으며, 현장여건에 따라 프리캐스트라이닝도 적용할 수 있다. 콘크리트라이닝의 균열 억제 및 내구성 증진 등을 위하여 철근 이외에 강섬유 또는 유리섬유를 사용할 수 있다.
- (2) 콘크리트라이닝의 소요강도는 지반특성, 콘크리트라이닝의 형상, 지보재의 종류 및 라이닝에 작용하는 하중 등에 적합하도록 설계해야 한다. 일반적으로, 재령 28일 강도가 21~24MPa 인 콘크리트를 표준강도로 하나 경우에 따라서는 그 이상인 고강도 콘크리트를 사용할 수 있다.

- (3) 비배수형 방수형식 터널에서는 방수목적상 수밀콘크리트를 사용해야 하며, 이 경우 재령 28일 강도는 27MPa 이상이 되도록 해야 한다.
- (4) 터널의 장기 안정성이 확보되는 경우나 현장여건에 따라 라이닝을 설치하지 않을 수 있다.

4. 콘크리트라이닝의 형상 및 두께

- (1) 콘크리트라이닝의 형상은 소요 내공단면을 포함하며 국부적인 응력집중을 방지하고 휨모멘트가 작게 발생하도록 급격한 만곡, 모서리, 요철 등을 피해야 하며 필요시 모따기 등을 고려해야 한다.
- (2) 콘크리트라이닝의 두께는 터널 단면의 크기와 형상, 지반조건, 작용하중, 수압, 사용재료 및 시공법 등을 고려하여 설계해야 한다.
- (3) 콘크리트라이닝의 두께는 소단면 철도터널을 기준으로 300mm를 표준으로 하되 단면크기, 형상 및 지반조건 등 현장여건을 감안하여 증감할 수 있다.
- (4) 콘크리트라이닝을 철근으로 보강하는 경우에는 구조적 안전성과 시공성을 함께 고려하여 두께를 산정해야 한다. 이 경우, 시공이음부에 타설하는 콘크리트의 품질을 향상시키고 시공성을 증진시키는 방안을 강구해야 하며, 필요에 따라 종방향 철근을 단절시킬 수 있되 단절에 따른 보강조치를 취해야 한다. 철근으로 보강하여 콘크리트라이닝을 타설할 경우 철근 처짐 방지 대책을 수립하여 소요피복두께와 건축한계(시설한계)를 확보해야 한다.

5. 인버트 형상 및 콘크리트라이닝의 설치

- (1) 원지반의 특성에 따라 콘크리트라이닝 기초 지지력 및 활동안정성을 검토 후 필요시 인버트 부분에 콘크리트라이닝 설치여부를 결정해야 한다.
- (2) 팽창성 지반, 압축성지반 및 함수미고결층 지반 등 특수한 지반에서는 인버트 콘크리트라이닝의 타설 시기를 추가로 검토해야 하며 특히 지반이 불량한 경우에는 숏크리트에 의한 인버트 부분의 보강도 고려해야 한다.
- (3) 지형 조건상 편압으로 인하여 터널의 안정성에 문제가 발생될 것으로 예상될 경우 인버트 부분의 형상을 곡선형으로 하되 현장조건에 따라 다른 형상을 적용할 수 있다.
- (4) 인버트는 측벽과 일체가 되어 외력에 안전하게 저항할 수 있는 형상이 되도록 설계한다.
- (5) 곡선형 인버트의 곡선부분 깊이는 지형 및 지반조건에 따라 정해야 하며, 시공성 및 경제성 등도 검토해야 한다.
- (6) 직선형 인버트를 적용하는 터널의 경우도 터널의 용도, 유지관리 등을 고려하여 인버트 부분에 콘크리트라이닝을 타설할 수 있다.



- (7) 단층과쇄대, 풍화대 지반에서는 콘크리트라이닝 타설 전 터널바닥부의 지반상태를 확인하고 장기적인 지반열화 가능성을 검토하여 필요시 인버트 라이닝을 설치하여야 한다.
- (8) 장기적인 지반의 열화가 우려되는 팽창성 지반, 압축성 지반에는 터널 바닥부에 인버트 라이닝을 설치하여야 하며, 외력에 저항할 수 있는 유리한 형상이 되도록 계획하여야 한다.

6. 균열방지대책

- (1) 콘크리트라이닝에 유해한 균열이 발생할 염려가 있는 경우에는 균열방지대책을 강구해야 하며 외기온도의 영향을 많이 받는 구간은 필요에 따라 콘크리트 타설 시 신축이음부를 설치해야 한다.
- (2) 콘크리트라이닝 균열의 요인은 콘크리트 경화온도 강하에 의한 온도신축, 터널 내 온도 변화에 의한 온도신축, 터널내 습도의 저하에 의한 건조수축 등이 있으며 균열방지를 위하여 다음 사항을 검토하여 설계해야 한다.
 - ① 쏿크리트와 콘크리트라이닝의 평활한 접속
 - ② 콘크리트 배합시 팽창재, 혼화제, 유동화제 등을 첨가하여 수화열과 건조수축량을 감소
 - ③ 콘크리트라이닝의 타설순서 조정
 - ④ 필요시 누수대책이 고려된 균열유발 줄눈의 설치
 - ⑤ 철근이나 철망 배치 및 섬유보강 콘크리트 사용
 - ⑥ 습윤양생 실시

7. 터널바닥처리

- (1) 바닥에는 궤도시공 및 유지관리를 위하여 필요한 경우 보조도상 콘크리트를 타설해야 한다.
- (2) 보조도상 콘크리트는 두께 150mm 이상, 재령 28일 강도 18MPa 이상이 되도록 해야 하며 균열방지를 위하여 와이어메쉬를 설치해야 한다.
- (3) 다만 7.(2)에도 불구하고 터널 굴착 시 발생하는 바닥 여굴부를 보조도상 콘크리트층과 동일한 규격의 콘크리트로 여굴부를 채우고 보조도상 콘크리트와 동시 시공하여 콘크리트 층분리가 없도록 시공한 경우 보조도상 콘크리트 두께를 100mm까지 축소할 수 있다.

* 보조도상 콘크리트(100mm) + 최소여굴(50mm) = 150mm 이상

8. 터널천장부 콘크리트라이닝 뒤채움

- (1) 콘크리트라이닝의 천장부 채움을 설계 시 반영하고 주입재의 재료, 배합, 주입구의

구조 및 배열 등을 계획해야 한다.

- (2) 주입작업시 배수체계의 훼손 및 구조물의 손상이 발생하지 않도록 주입압을 검토해야 한다.
- (3) 주입 재료로 사용되는 모르타르는 주입 작업 시의 분리, 특히 고형물의 침전이 적고 주입 후의 체적 신축이 작아야 한다.
- (4) 콘크리트라이닝 천장부 채움시 주입관과 배기관을 설치하여 공극채움이 원활히 되도록 해야 한다.

9. 동결피해 대책

- (1) 동결피해 및 제빙화학제로 인한 열화대책으로 동절기 외기의 영향을 받는 구간은 내구성 증진을 위해 콘크리트 강도를 증대 적용할 수 있다.



해설 1. 콘크리트라이닝의 설계일반

본 해설에서는 콘크리트라이닝의 설계를 위한 각종 고려사항, 즉 콘크리트라이닝의 재료, 강도, 형상 및 두께 등에 대하여 설명하였다. 아울러 콘크리트라이닝의 시공시 유의하여야 할 사항과 균열방지대책 등에 대하여도 언급하였으며 철도터널의 특성인 터널 바닥부의 처리에 대하여 자세히 다루었다. 한편, 라이닝 배면의 방수 및 배수 등에 대하여는 「KR C-12060 배수 및 방수」에서 따로 다루었다.

1. 콘크리트라이닝의 역할

터널 내 콘크리트라이닝은 터널 주변의 지반상태, 환경 조건 및 주지보재의 지보능력을 고려하여 사용 목적 및 사용조건에 적합하고 내구연한 동안 충분한 안정성과 누수 등에 의한 침식이나 강도의 감소 등이 없는 내구성을 가지도록 설계해야 한다. 일반적으로 터널 콘크리트라이닝은 터널의 사용 개시 후에 개수한다는 것은 매우 곤란하므로, 장래 개수를 하는 일이 없도록 충분한 고려를 해야 한다.

쏿크리트, 록볼트, 강지보재 등으로 터널의 안정성이 확보되거나 지반이 견고하여 풍화의 우려가 없고 사용상 지장이 없는 경우에는 콘크리트라이닝을 생략하고 프리캐스트 판으로 라이닝을 대신하는 경우(PCL, Precast Concrete Lining)도 있으며, 이러한 경우 충분한 안전성·내구성을 고려해야 한다. 즉, PCL 공법은 굴착으로 발생한 원지반의 이완응력 및 변위 등이 수렴된 상태에서 내부 라이닝을 조립·시공하게 되므로 공사 기간 측면에서 상당한 장점을 가지고 있으며 PCL과 쏿크리트면 사이의 공간으로 지하수를 배수할 수 있으므로 방수막이 제대로 시공된다면 터널 내 지하수를 효과적으로 유도 배수할 수 있다. 또한 PCL의 손상시 신속히 교체 및 보수를 할 수 있다는 점과 라이닝 내 균열현상을 줄일 수 있으나, 장기하중을 지지할 수 없으므로 1차 지보재인 쏿크리트와 록볼트가 영구지보로서의 역할을 할 수 없는 경우에는 이 공법의 적용이 곤란한 단점이 있다.

참고로 <그림 3>은 일반적인 PCL 공법의 시공순서를 나타내며 <표 1>에는 현장타설식 콘크리트라이닝 공법과 PCL 공법의 특성을 비교·분석하였다.

한편 쉘터널의 시공시 쉘드 후방에 현장타설(Cast-In-Place) 콘크리트라이닝을 병행하여 시공하는 공법도 있으며 이를 특히 ECL(Extruded Concrete Lining)공법이라 칭한다. ECL공법은 기존의 프리캐스트 판을 대신하는 것으로서 쉘드의 추진과 동시에 콘크리트를 타설하여 주변 지반과 밀착된 고품질의 라이닝을 시공할 수 있다는 장점이 있고 공기를 단축할 수 있다. 최근에는 강섬유보강 콘크리트나 철근보강 콘크리트가 적용되기도 하나 조기강도의 발현이 요구되며 따라서 콘크리트의 품질관리가 주요 관건이 된다.

콘크리트라이닝은 사용 목적에 따라 구조체로서의 역학적 기능, 비배수형 방수형식 터널에서의 내압기능, 구조물로서의 내구성 확보 및 미관유지 기능 등을 가지며, <표 2>에는 이러한 콘크리트라이닝의 기능 및 적용대상을 나타내었다. 한편, 콘크리트라이닝의 설계시에는 지반조건, 하중 조건, 구조물의 중요도 등의 제 조건을 충분히 검토한 후 다음과 같은 일반적인 목적을 보유하도록 해야 한다.

1.1 공용성 측면

- (1) 지하수 등의 누수가 적고 수밀성이 양호한 구조물이 될 것
- (2) 사용중 점검·보수 등의 작업성이 높을 것
- (3) 터널 내의 가선, 조명, 환기 등의 시설을 지지할 것
- (4) 열차운행 중 진동 등에 의한 산란이 균등할 것

1.2 강도 특성 측면

- (1) 터널의 변형이 수렴하지 않은 상태에서 콘크리트라이닝을 시공하는 경우에는 터널의 안정에 필요한 구속력을 가질 것
- (2) 콘크리트라이닝 시공 후 수압, 상재 하중 등에 의한 외력이 발생하는 경우 이를 지지할 것
- (3) 지질의 불균일성, 지보재 품질의 저하, 록볼트의 부식 등 불확정 요소를 고려하여 구조물로서의 안전율을 증가시킬 것
- (4) 사용 개시후 외력의 변화와 지반, 지보재의 열화에 대한 구조물로서의 내구성을 향상시킬 것
- (5) 조립식 콘크리트라이닝(Segment)의 경우 제작, 운반, 취급, 설치와 기타 시공 중에 작용하는 외력 및 완공후 지진에 대한 안정성 확보가 가능할 것

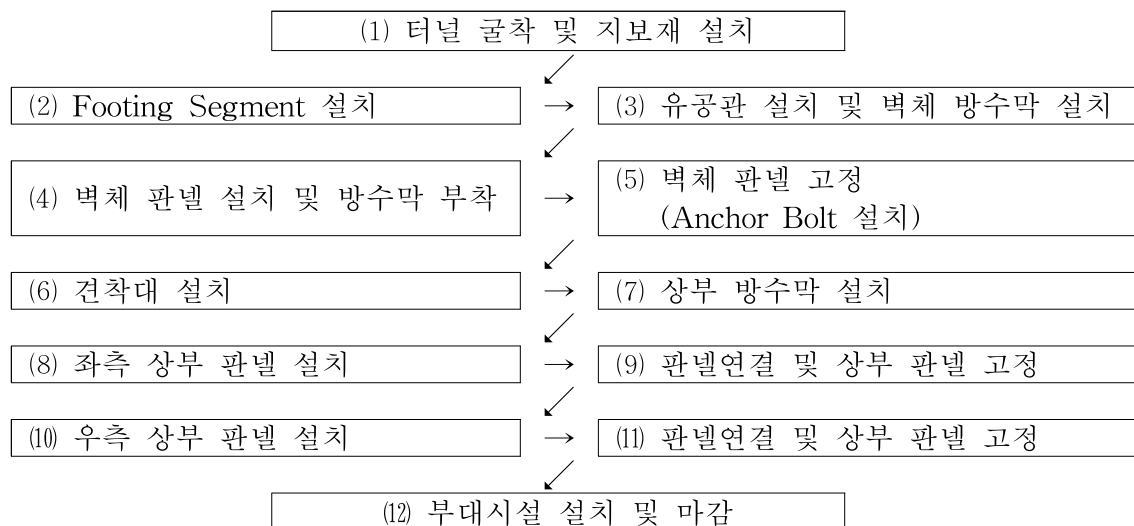


그림 1. PCL 공법의 일반적인 시공순서도(한국터널지하공간학회, 2001)



표 1. 현장타설 콘크리트라이닝과 PCL 공법비교(한국터널지하공간학회, 2001)

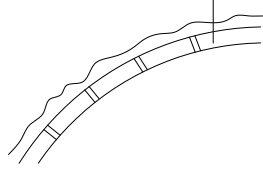
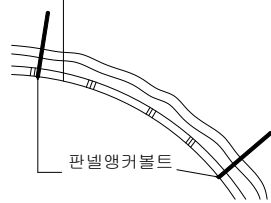
구분	현장타설라이닝 공법	PCL 공법
표준 단면	<p>췁 크 리 트 타 설</p> <p>여굴의 췁크리트 채움</p> <p>부착포 및 방수막 설치</p> <p>현장타설 라이닝($t=30\sim40\text{cm}$)</p> 	<p>내 구 성 췁크리트 타설</p> <p>배 면 공 간 (배수)</p> <p>방 수 막 설 치</p> <p>조립식 라이닝 ($t\approx15\text{cm}$)</p> 
시공 순서	<ul style="list-style-type: none"> · 일반 및 강섬유보강 췁크리트 타설 · 여굴의 췁크리트 채움 · 부착포 및 방수막 설치 · 현장타설 라이닝 	<ul style="list-style-type: none"> · 내구성 일반 및 강섬유보강 췁크리트 타설 · 배면공간(배수) · 방수막 설치 · 조립식 라이닝
단면 구성	<ul style="list-style-type: none"> · 굴착면 · 일반 췁크리트($f_{ck}=21\text{MPa}$) · 콘크리트라이닝 두께($t=300\sim400\text{mm}$) · 부착포 배수 	<ul style="list-style-type: none"> · 굴착면 · 내구성 고강도 췁크리트 (SFRS 휨강도 $f_{bk}=4.5\text{MPa}$) · 조립식 라이닝 두께($t\approx150\text{mm}$) · 배면공간(150~400mm)유도 배수
시공성	<ul style="list-style-type: none"> · 시공단계별 내공유지 필요 · 터널보강 후 내부라이닝 타설 · 췁크리트와 록볼트로 터널안정 · 현장 Batch Plant에서 직접 수송타설 · 기능공 수준에 따른 품질의 차이 · 타공정과 병용시 거푸집 안정성 문제발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 판넬 설치 내공단면 유지 · 터널 보강후 PCL 설치 · 췁크리트와 록볼트로 터널안정성 유지 · 절리보강을 위한 록볼트 역할 중요 · 판넬 제작장 필요 · 판넬 운반 및 시공의 기계화 · 기 제작된 PC의 운반 및 거치로 시공시 공기단축 및 품질관리용이
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 국내 적용 실적 많고 익숙함 · 췁크리트면에 밀착하여 시공함으로써 구조적인 기능수행이 가능하여 추가의 안전을 기대 가능 · 환기시설, 소화전 등의 시공이 용이 · 단면 변화부, 연결부 등의 시공성이 양호 	<ul style="list-style-type: none"> · 공기 단축가능 · 배수형 터널 개념 · 고강도 콘크리트 판넬을 조립하므로 판넬 내의 균열방지 · 공장제작으로 내부라이닝의 균질한 품질확보가 용이
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 터널 천단부 채움 콘크리트 시공품질 보장 곤란 · 라이닝 균열 발생 잦음 · 장대터널 라이닝 타설 공기의 단축 곤란 · 배수효율 불량시 구조적 문제발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 국내 적용실적 거의 없음, 장비운용 미숙 · 췁크리트 및 록볼트의 고품질 확보요구 · PCL 거치시 정교한 시공이 요구되고, 세그먼트 접합부의 시공유지가 까다로움

표 2. 콘크리트라이닝의 기능(도로설계편람, 2009)

기능	적용대상	내용
구조체로서의 역학적 기능	쑏크리트 등으로 형성된 주지보재가 구조물로서 충분한 안전율이 없다고 판단되는 경우	쑏크리트에 균열이 발생하고 록볼트에 큰 축력이 작용하여 응력 저항부에 크리프 현상이 발생하거나 볼트의 부식으로 인하여 지반응력이 콘크리트라이닝에 전달될 가능성이 있다고 보는 경우
	현장 여건으로 인하여 지반변위가 수렴되기 전에 콘크리트라이닝을 시공하는 경우	주지보 단계에서 변위가 수렴되어야 하나 공정상의 이유로 콘크리트라이닝을 변위수렴 전에 시공하는 경우에는 지반압을 지탱하는 구조체로서 설계
	토피가 작은 토사 지반 등에서 주변환경의 영향을 받기 쉬운 경우	토사 지반 등에서 토피가 작은 경우 지하공동 구조물이 주변 환경에 영향을 받기 쉬우므로 적절한 상재하중에 의해 역학적 검토가 필요하며, 장차 토피의 경감이 예상되는 경우도 함께 고려
	운영중 배수시설의 기능 저하로 수압이 걸릴 것으로 예상되는 경우	지하 공동 시공 후 주변 환경 조건에 의해 배수가 불가능해질 가능성이 있는 경우는 정수압을 고려
비배수형 방수형식 터널에서의 내압 기능	비배수형 방수형식 터널 경우와 같이 방수가 요구되는 경우	비배수형 방수형식 터널에서와 같이 방수시트를 사용하여 방수를 실시하는 경우는 콘크리트라이닝에 수압이 작용하므로 수압을 고려
구조물로서의 내구성 확보 및 미관 유지 기능	주지보의 내구성이 우려되는 경우	주지보가 시간의 경과에 따라 강도 저하, 박리, 차량 및 열차 진동, 지진 등으로 내구성이 우려되는 경우 영구 구조물 기능에 비교적 신뢰도가 높은 콘크리트라이닝을 설계
	유지 관리상 필요한 경우	지하 공동 내의 설비, 전기 등의 유지 관리 또는 미관상, 습도 조절 등의 경우에 콘크리트라이닝을 설계

2. 설계하중의 산정과 적용

일반적으로 콘크리트라이닝의 설계는 구조해석을 위한 해석모델, 적용하중의 크기 및 조합, 입력특성치의 결정 등 공학적 판단에 의해 영향을 받으므로 특정한 구조해석 자체가 명쾌한 수단이 될 수 없는 경우가 많다. 콘크리트라이닝의 구조해석 시에 적용하는 토압에 대해서는 일반적으로 지반자체의 지보능력을 고려한 작용토압을 적용하는 것이 합리적이다. 그러나 작용토압의 유무는 지반조건에 따라 다르고, 지반이 양호할 경우는 발생하지 않게 됨을 주지할 필요가 있다. 해석에 있어서는 발생가능한 다양한 하중조합을 적용하여 상황에 가장 근접한 결과를 얻을 수 있도록 해야 한다.



일반적으로 터널의 형식에 따라 콘크리트라이닝의 설계방법이 달라진다. 즉, 배수형 방수형식 터널의 경우, 강지보재, 숏크리트, 록볼트 등으로 구성된 주지보재를 영구 지보재로 간주할 경우에는 모든 지반하중을 주지보재가 지탱하도록 하고 지반 내의 지하수는 터널 배수구를 통해 배수함으로써 콘크리트라이닝은 자중 외에는 외력을 받지 않는 구조물로 설계된다. 다만, 하저/해저터널과 같이 지하수의 공급원이 충분하여 계속해서 터널 내부로 침투가 일어나는 경우에는 침투수력이 라이닝에 미치는 영향을 고려할 필요가 있다. 반면 비배수형 방수형식 터널은 지반 하중에 대해서는 배수형 방수형식 터널과 동일하나 지하수 배출이 차단됨으로써 발생하는 수압을 콘크리트라이닝이 견디도록 설계한다.

2.1 콘크리트라이닝 설계시 고려해야 할 하중

콘크리트라이닝 설계시 고려해야 할 하중들은 다음과 같다.

- (1) 콘크리트라이닝의 자중(고정하중)
- (2) 철도, 도로 및 기타 터널에 영향을 미치는 모든 차량하중(활하중)
- (3) 토압 : 터널의 지반조건 및 시공법 등에 따라 지반자체의 지지력 및 아칭효과 등을 고려하여 토압을 산정하며 Terzaghi의 암반하중 개념, Q분류법 혹은 RMR 분류법 등에 의한 토압을 적용할 수도 있다. 또한, NATM 터널 원리가 적용된 지반-주지보재-콘크리트 라이닝 상호작용 모델을 이용한 지반하중을 적용할 수 있으며, 지반하중 크기는 다음과 같다. 제시된 지반하중 산정식은 산악터널과 같이 깊은 터널 또는 지반아칭이 형성되는 일반적인 조건에서 건설되는 NATM 터널을 전제로 한다. 단, 지반변위가 수렴되기 전에 콘크리트 라이닝을 시공하는 경우, 토피가 작은 토사지반, 지층구조와 지형이 불규칙 적이거나 지반이 불균질한 경우 등과 같이 주변환경의 영향을 받기 쉬워 상재하중을 반영한 역학적 검토가 필요한 경우와 같은 특수한 조건은 배제한다. <참고> 철도건설 경쟁력 확보를 위한 제반연구('13.12)

$$P = \left[\frac{\gamma \cdot (B+H) - c}{7 \tan \phi} \right] \cdot e^{-\frac{E}{1000(\gamma \cdot B)}}$$

$$B = 2 \left[\frac{b}{2} + h \cdot \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right]$$

여기서,

h : 터널높이(m)

b : 터널폭(m)

γ : 지반의 단위중량(kN/m³)

E : 변형계수(kN/m²),

ϕ : 내부마찰각(°)

c : 점착력(kN/m²)

H : 토피고(단, H > 80m 인 경우, H= 80을 적용)

주) 상기식은 지반의 이완하중을 콘크리트 라이닝이 부담한다는 개념을 적용할 수 있는 검증된 수치해석 프로그램으로도 산정 할 수 있다.

지반-라이닝 상호작용 모델(Ground Lining Interaction)은 굴착하중을 지반과 분담하고 있는 주지보재가 열화 등에 의한 지지력 상실시, 콘크리트라이닝으로 전이되는 하중을 지반하중으로 고려하는 방법으로, 지반하중 산정과정은 <그림 2>와 같다. 즉, 굴착 및 주지보재가 설치되면, 지반의 응력에 대한 지반변위에 의해 발생하는 수동지보압(passive support pressure)이 일치하는 지점에서 변위가 수렴하여 1차 평형 상태에 도달하며, 추가로 콘크리트라이닝이 타설되어도 지반하중은 작용하지 않는다. 그러나, 주지보재가 열화되어 지지력이 상실되면, 1차 평형상태 교란에 의한 지반변위가 추가로 발생하여 콘크리트라이닝에 하중이 작용하게 된다. 지반의 추가변위는 콘크리트라이닝의 지지력과 지반하중이 새로운 평형상태에 도달할 때까지 발생하게 되며, 이경우 콘크리트라이닝에 작용하는 하중을 지반하중으로 고려한다. 콘크리트라이닝에 작용하는 하중은 지반의 2차변위로 인하여 지반하중이 일부 소산되어 주지보재에 작용하는 하중보다 작게 발생된다.

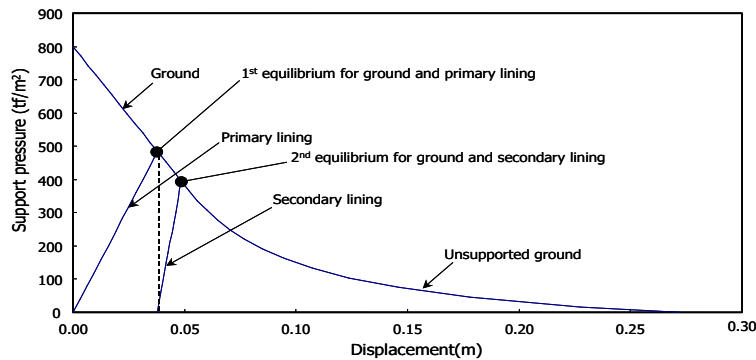


그림 2. 지보반응곡선(굴착과 동시에 지보재 설치 가정)

- (4) 수압 : 비배수형 방수형식 터널의 경우 최고와 최저 지하수위를 고려한 정수압. 배수형 터널의 경우 충분한 지하수 공급 또는 배수시스템의 막힘현상등에 의한 침투수압 작용여부를 검토하여 결정
- (5) 건물 하중 등의 상재하중
- (6) 필요시 급전선 하중(0.8kN) 및 전차선 하중(5.1kN)
- (7) 온도변화 및 건조수축하중 등
- (8) 지진하중

2.2 배수형 방수형식 터널에서의 설계 하중조합

배수형 방수형식 터널에서의 설계 하중조합 예는 다음과 같으며 잔류수압에 대한 검토를 병행할 수도 있다.

- (1) 하중조합 1 : 콘크리트라이닝의 자중
- (2) 하중조합 2 : 콘크리트라이닝의 자중 + 지반 자체 지지력을 고려한 토압 + 활하중 + 건물하중 + 수압



- (3) 하중조합 3 : 콘크리트라이닝의 자중 + 활하중 + 건물하중 + 지반 자체 지지력을 고려한 토피하중 + 수압

2.3 비배수형 방수형식 터널에서의 설계 하중조합

일반굴착공법의 비배수형 방수형식 터널에 대한 하중조합 설계 사례를 제 2기 서울 지하철 터널 설계 및 시공관리 종합보고서에 제시된 방법을 중심으로 살펴보면 다음과 같다. 단, 여기에 언급한 내용은 하나의 사례임을 주지할 필요가 있다.

- (1) 하중조합 1 : 콘크리트라이닝의 자중
- (2) 하중조합 2 : 콘크리트라이닝의 자중 + 최고 및 최저 수위시의 정수압(단, 하중조합 2는 주 지보재가 제기능을 발휘하는 것으로 가정)
- (3) 하중조합 3a : 콘크리트라이닝의 자중 + 지반 자체 지지력을 고려한 토압 + 활하중 + 최고수위시의 정수압 + 건물하중
- (4) 하중조합 3b : 콘크리트라이닝의 자중 + 지반 자체 지지력을 고려한 토압 + 활하중 + 최저수위시의 정수압 + 건물하중
- (5) 하중조합 4a : 콘크리트라이닝의 자중 + 최고 지하수위시의 정수압 + 아칭효과를 미고려한 토피 하중 + 활하중 + 건물하중
- (6) 하중조합 4b : 콘크리트라이닝의 자중 + 최저 지하수위시의 정수압 + 아칭효과를 미고려한 토피하중 + 활하중 + 건물하중(단, 하중조합 4a는 가장 불리한 가정조건으로 단면 결정시 안전율을 감소시켜 적용)

2.4 콘크리트라이닝의 작용수압

비배수형 방수형식 터널에서의 수압에 대한 기존 연구결과들에 의하면 지반압과는 대조적으로 작용수압은 압력의 손실 없이 전체수두(Full Hydraulic Head)가 작용하며, 하중작용면에 대하여 수직방향으로 모든 점에 일정한 정수두(Hydrostatic Head)가 작용하는 것으로 보고되어 있다(Szechy, 1973). 따라서 비배수형 방수형식 터널은 전체 지하수위를 고려한 정수압을 적용하며, 터널이 불투수층 내에 위치하는 경우, 이 층은 함수층에 의해 누적되며, 이때 배수형식에 무관하게 터널 단면에는 수압이 작용하지 않으나 전체 작용하중은 함수층의 중량을 고려해야 한다. 그리고 지하수는 직접적인 외부하중 외에도 2차 효과를 가지고 있는데 지반 또는 암반의 포화는 고유의 강도를 저하시켜 응력이완(Stress Released)을 발생시키며, 따라서 터널에 작용하는 하중은 지반 또는 암반의 포화된 중량(W_{sat})을 고려해야 할 경우가 있다.

참고로 콘크리트라이닝이 주지보재인 채래식터널공법으로 시공한 터널에서 정수압과 콘크리트라이닝과의 관계는 라이닝의 두께와 터널 반경과의 관계를 이용하여 라이닝에 작용하는 원주방향 응력을 다음과 같이 계산할 수 있다(Dept. of The Army Corps. of Engineers, 1978)

(1) 라이닝 두께(t , 단위 : m)가 반경(R)의 1/10 보다 적거나 같은 경우(Thin Wall)는,

$$\sigma_{conc.L} = -\frac{(P \times R)}{t} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

이며, 여기서 P 는 외부수압(MPa), R 은 라이닝의 중심선까지의 터널 반경(m)이다.

(2) 라이닝 두께(t , 단위 : m)가 반경(R , 단위 : m)의 1/10 보다 큰 경우(Thick Wall)는,

$$f_{conc.L} = -\frac{PR_2^2(R_1^2 + r^2)}{r^2(R_2^2 - R_1^2)} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

가 되며, 여기서 R_1 과 R_2 는 각각 라이닝의 내부 및 외부 반경이고 r 은 라이닝 내부의 임의의 위치이다.

3. 콘크리트라이닝의 해석

일반적으로 콘크리트 구조물의 설계순서는 구조해석과 단면설계의 순서로 이루어지며, 작용하중이 구조물에 일으키는 응력과 변형을 구조해석으로부터 구하고, 부재단면의 안전을 검토하여 주어진 하중작용에 대해 적합한 단면을 결정하는 것이 설계절차라 할 수 있다. 역학적 성질이 복잡한 콘크리트라이닝의 응력이나 변형을 단순히 이론에 의해 결정한다는 것은 어려움이 있지만 근래 이에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.

해석방법을 선정하는데 있어서 일반적인 구간에는 2차원 해석기법을 적용할 수 있으나 지질변화가 급격한 구간 및 응력집중이 예상되는 접속부 등은 3차원 해석을 실시하여 2차원 해석에서 누락될 수 있는 단면력의 변화를 검토하는 것이 좋다.

일반굴착공법에서는 터널 주변의 원지반 및 주지보재를 영구 복합 구조체로 보기 때문에 배수형 방수형식 터널에서 콘크리트라이닝은 단지 안전을 향상 및 미관유지 등의 목적으로 시공성 및 실적 등을 감안하여 두께를 정하고 있고, 적절한 콘크리트 설계법을 이용하여 이들의 구조해석을 실시하게 된다. 따라서 본 편람에서는 콘크리트라이닝의 설계에 일반적으로 사용되고 있는 강도설계법과 대체설계법에 관하여 설계자나 시공자의 개념 정립을 목적으로 간략하게 논하였으나, 경우에 따라 하중저항계수설계법(LRFD)도 고려할 수 있다. 상기의 방법 중 어느 방법을 채택하는가의 문제와 적정 하중조합 및 계수 등의 설정은 설계자의 판단에 따른다. 안전율과 하중계수는 설계기준의 엄격성에 관련된 문제로서, 라이닝 구조물의 중요성, 손상피해의 심각성, 설계에 사용한 각종 계수와 해석 모델링의 정확성, 해석방법의 정밀성 그리고 시공조건과 시공오차 등을 감안하여 신중하게 채택해야 한다.

3.1 강도설계법

강도설계법은 부재의 파괴상태 또는 파괴에 가까운 상태를 기초로 하는데 이런 상태에 가까이 있는 부재의 강도를 극한강도라 하며, 다음의 가정에 따라 휨과 휨 및 축방향력을 받는 부재의 극한강도를 계산해야 한다.



- 철근 및 콘크리트의 변형률은 중립축으로부터의 거리에 비례한다.
- 압축축 연단에서 콘크리트의 최대 변형률은 0.003으로 가정한다.
- 항복강도(f_y) 이하에서 철근의 응력(f_s)은 그 변형률의 E_s 배로 보며, 항복강도에 해당하는 변형률보다 더 큰 변형률에 대해서도 f_s 는 변형률에 관계없이 f_y 와 같다고 가정한다.
- 콘크리트의 인장강도는 휨계산에서 무시한다.
- 콘크리트 압축하중의 분포와 변형률 관계는 직사각형, 사다리꼴, 포물선 또는 기타 어느 형상으로든지 가정할 수 있으나, 적절한 시험에 의해 그 강도를 미리 알 수 있는 것이라야 한다.
- 앞의 사항은 다음에 정의되는 등가 직사각형 응력분포로 생각해도 무관하다. 즉, 콘크리트의 압축하중이 $0.85 f_{ck}$ 로 균등하고, 이 응력이 압축연단으로부터 $a = k_1 c$ 까지 등분포한다고 가정한다. 여기서, c 는 압축연단에서 중립축까지의 거리, k_1 은 f_{ck} 가 28MPa까지인 콘크리트에서 0.85이고, 28MPa에서 1MPa 씩 증가하는 데에 따라 0.85의 값을 0.007씩 감소시켜야 한다(단, $k_1 \geq 0.65$).

구조부재의 가장 중요한 성질은 그 부재의 실제 강도이다. 실제 강도는 구조물의 수명 동안 작용할 예측 가능한 모든 하중에 대하여 파괴나 다른 결함을 유발함이 없이 어느 정도의 여유를 가지고 견딜 수 있는 충분한 크기라야 한다. 그러나 공칭강도(Nominal Strength)는 실제의 구조부재의 강도와 다를 수도 있다. 작용하는 하중 역시 어떤 범위의 오차를 가지고 예측할 수 있을 뿐이지 작용하중의 정확한 값은 알 수 없다. 그러므로 구조부재가 안전하기 위해서, 공칭강도(S_n)는 강도의 결함을 고려하여 감소계수(ϕ)의 곱으로 감소시켜야 하고, 기준하중(Specific Load, L)은 가능한 초과하중을 고려하여 하중계수(γ)에 따라 증가시켜야 한다. 즉, 부재의 공칭강도는 다음의 <식 (3)>과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi S_n \geq \sum \gamma_i L_i \quad (3)$$

여기서, ϕ : 강도 감소계수

S_n : 공칭강도

L_i : 부재에 동시에 작용하는 여러 하중 가운데 i 번째의 하중

γ_i : L_i 의 불확실성의 정도에 따라 정해지는 하중계수

이러한 이론에 근거한 설계방법을 강도설계법(Strength Design Method)이라고 하며, 사용하중(Service Load)이란 하중계수(γ)를 곱하기 이전의 하중으로서 작용하중이라고도 한다.

이제 사용 고정하중(Service Dead Load)에 의한 단면력을 D , 사용 활하중(Service Live Load)에 의한 단면력을 L 이라 하고, 또 이 하중들에 대한 하중계수를 각각 γ_D , γ_L 이라고 하면, <식 (3)>은 <식 (4)>와 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Sigma \gamma_i L_i &= \gamma_D D + \gamma_L L = U \\ \phi S_n &\geq U \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, ϕS_n 을 설계강도(Design Strength), U 를 소요강도(Required Strength)라고 하며, 설계강도가 소요강도보다 크게 되도록 설계하는 것이 강도설계법의 기본개념이다.

이와 같이 강도감소계수(ϕ) 및 하중계수(γ_i)는 안전을 위한 계수이고, ϕ 는 응력의 종류, 부재의 중요도, 시공 등에 따라 변화하는 1 보다 작은 값으로서 부재의 공칭강도에 곱해주는 안전계수이다. 또한 γ_i 는 하중의 종류와 조합에 따라서 변화하는 1 보다 큰 값으로서 사용하중에 곱해 주는 계수이다.

<표 3>은 터널설계에 적용하고 있는 강도설계법의 하중계수를 보여주고 있으며, <표 4>는 강도설계법의 강도 감소계수를 나타내는 표이다.

표 3. 강도설계법의 터널설계용 하중조합과 하중계수
(콘크리트구조설계기준, 2007)

하 중 계 수
1.4(D +F +H _v)
1.2(D +F +T) +1.6(L +a _H H _v +H _h)
1.2D +1.0L
1.2D +1.0E + 1.0L
1.2(D +F +T) +1.6(L +a _H H _v) + 0.8H _h
0.9D +1.6(a _H H _v + H _h)
0.9D +1.0E + 1.6(a _H H _v + H _h)

- 1) D : 고정하중
- 2) E : 지진하중(사용수준 지진력을 적용하는 경우에는 1.0E를 1.4E로 대체)
- 3) F : 유체압력에 의한 하중
- 4) H_h : 흙, 지하수 또는 기타 재료의 횡압력에 의한 수평방향 하중
- 5) H_v : 흙, 지하수 또는 기타 재료의 자중에 의한 연직방향 하중
- 6) L : 활하중
- 7) T : 온도, 크리프, 건조수축 및 부등침하 등에 의한 단면력
- 8) a_H : 토피의 두께에 따른 H_v 의 보정계수

표 4. 강도설계법의 강도감소계수(ϕ)(콘크리트구조설계기준, 2007)

부재 또는 하중의 종류		강도 감소계수(ϕ)
인장지배 단면		0.85
압축지배 단면	나선철근 부재	0.70
	기타의 부재	0.65
전단력과 비틀림모멘트		0.75
콘크리트의 지압력		0.65
무근 콘크리트의 휨모멘트, 압축력, 전단력, 지압력		0.55

3.2 대체설계법

대체설계법은 다음과 같은 세 가지 가정을 전제로 해야 한다.

- 변형은 중립축으로부터의 거리에 비례한다.



- 콘크리트의 탄성계수비는 정수이다.
- 콘크리트의 휨인장응력은 무시한다.

이는 철근콘크리트를 탄성체로 보고 탄성이론으로부터 구한 콘크리트의 응력(f_c) 및 철근의 응력(f_s) 이 각각 그 허용응력(f_{ca} , f_{sa})을 넘지 않도록 하는 방법이며, 탄성 설계법으로 불리우기도 한다.

<표 5>와 <표 6>은 각각 콘크리트와 철근의 허용응력을 보여주고 있다. 이 설계법은 탄성이론으로 응력을 해석하기 때문에 철근과 콘크리트의 탄성계수비(n)의 값이 필요하며, 보통골재를 사용한 콘크리트의 탄성계수(E_c)와 철근의 탄성계수(E_s)는 다음 <식 (5)>와 같고, 탄성계수비(n)는 <식 (6)>과 같이 된다.

$$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ (MPa)} \quad (5)$$

$$E_s = 200,000 \text{ (MPa)}$$

$$f_{cu} = f_{ck} + 8 \text{ (MPa)}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200,000}{8,500 \sqrt[3]{f_{cu}}} \quad (6)$$

$$= \frac{23.5}{\sqrt[3]{f_{cu}}}$$

한편, 대체설계법의 적용시에는 앞서 논의한 하중과 더불어 온도하중 및 지진하중 등을 동시에 고려할 수 있으며, 이때 고정하중은 콘크리트라이닝의 자중 뿐만 아니라 상재 이완하중을 포함한다.

표 5. 대체설계법의 콘크리트 허용응력

응력의 종류	부 재			허 용 응 력(MPa)
				콘크리트 설계기준
휨압축 응력	휨 부 재			0.4 f_{ck}
전단 응력	보	전단철근이 없는 경우		$0.08 \sqrt{f_{ck}}$
		전단철근이 있는 경우		$\nu_{ca} + 0.32 \sqrt{f_{ck}}$
	슬래브 및 확대기초	전단철근이 없는 경우	1 방향 작용	$0.08 \sqrt{f_{ck}}$
			2 방향 작용	$0.08(1+2/\beta_c) \sqrt{f_{ck}}$ $\leq 0.16 \sqrt{f_{ck}}$
		전단철근이 있는 경우	1 방향 작용	-
			2 방향 작용	-

여기에서, 1) β_c : 집중하중 또는 반력의 작용면에서 긴 변의 짧은 변에 대한 비

2) f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도

3) 콘크리트의 허용인장응력은 규정되지 않으며 사용성 및 내구성을 판별하기 위한 방편으로 다음과 같은 파괴계수를 적용할 수 있다.

$$f_r = 0.63 \sqrt{f_{ck}}$$

표 6. 대체설계법의 철근 허용응력

허용 인장응력	0.5 f_y (SD 350 이하)
---------	-----------------------

주) f_y : 철근의 설계기준 항복강도(Yield Strength)

<표 7>은 터널설계에 적용하고 있는 대체설계법의 하중조합 및 하중계수를 보여주고 있으며, <표 8>은 대체설계법의 강도감소계수를 나타내는 표이다.

표 7. 대체설계법의 터널설계용 하중조합과 하중계수

하중 조건	극 한 하 중
연직 활하중이 최대하중으로 작용할 경우	1.4D+1.7L
지진하중 E가 최대 하중으로 작용할 경우	Max. {1.4D+1.7L, 0.75(1.4D+1.7L+1.8E), 0.9D+1.4E}
횡토압 혹은 횡방향 지하수압 H를 포함시켜야 할 경우	Max. {1.4D+1.7L, 1.4D+1.7L+1.8H, 0.9D+1.8H}
유체압력 F를 포함시켜야 할 경우	Max. {1.4D+1.7L, 1.4D+1.7L+1.5F, 0.9D+1.5F}
변형력 T가 현저한 경우	Max.{1.4D+1.7L, 0.75(1.4D+1.7L+1.5T), 1.4D+1.5T}

1) T : 온도변화 크리프, 건조수축 등으로 유발된 단면력

2) 지하구조물의 경우, 고정하중 D는 1.1D를 적용

표 8. 대체설계법의 강도감소계수(ϕ)

부재 또는 하중의 종류		강도감소계수(ϕ)
인장지배 단면		0.85
압축지배 단면	나선철근 부재	0.85
	기타의 부재	0.75
전단력과 비틀림모멘트		0.70
콘크리트의 지압력		0.80
무근 콘크리트의 휨모멘트, 압축력, 전단력, 지압력		0.70

3.3 각 설계법의 비교

이상에서 논의한 강도설계법과 대체설계법을 비교해 보면 다음과 같은 몇 가지 특징이 있다.

강도설계법은 대체설계법에 비해서 다음과 같은 특징을 가지고 있다.



- 파괴에 대한 안전도의 확보가 확실하고,
- 하중계수에 따라 하중의 특성을 설계에 반영할 수 있는 장점이 있으나, 서로 다른 재료의 특성을 설계에 합리적으로 반영하기 어렵고, 사용성의 확보를 위해서는 별도로 검토해야 하는 단점이 있다.

한편, 대체설계법은 계산이 매우 간편한 장점이 있는 반면에,

- 부재의 강도를 알기 어렵고,
- 파괴에 대한 두 재료의 안전도를 일정하게 하기가 곤란하며,
- 고정하중 또는 활하중과 같이 서로 성질이 다른 하중들의 영향을 설계에 반영할 수 없다는 단점이 있다.

4. 콘크리트라이닝의 이음부 처리

콘크리트라이닝의 이음부에 있어서 기초 및 인버트 폐합 콘크리트라이닝이 없는 경우에는 측면 배수공동구 부분의 콘크리트를 먼저 타설한 후 측벽 아치 전단면 콘크리트를 타설해야 한다. 한편, 기초 및 인버트 폐합 콘크리트라이닝이 있는 경우에는 기초 및 인버트 콘크리트를 타설한 후 상기 순서에 의해 콘크리트라이닝을 타설하여 원만한 이음 및 일체화를 이룰 수 있도록 해야 한다.

5. 철근 콘크리트라이닝의 시공 중 철근전도방지대책

철근 콘크리트라이닝 시공 중 철근이 전도되지 않도록 결속선 체결 및 철근 전도방지 계획(철근 고정용 앵커, 격자지보형 강지보재 등)을 수립해야 한다.

해설 2. 콘크리트라이닝의 재료 및 강도

1. 콘크리트라이닝의 재료

콘크리트라이닝에 사용하는 터널 사용목적에 적합해야 하며 일반적으로 현장타설 무근 또는 철근 콘크리트를 사용할 수 있으며, 현장여건에 따라 프리캐스트라이닝도 적용할 수 있다. 콘크리트라이닝의 균열 억제 및 내구성 증진 등을 위하여 철근 이외에 강섬유 또는 유리섬유를 사용할 수 있다.

배합설계에 있어서는 소정의 강도가 얻어지고, 충분한 내구성과 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 해야 한다. 또한, 콘크리트라이닝에 쓰이는 골재는 양질이며 내구성 면에서 우수한 것을 쓰고, 염분 및 유기물 등의 유해성분은 기준치 이하여야 한다.

2. 콘크리트라이닝의 강도

콘크리트라이닝의 소요강도는 지반특성, 콘크리트라이닝의 형상, 지보재의 종류 및 라이닝에 작용하는 하중 등에 적합하도록 설계해야 한다. 일반적으로, 재령 28일 강도가 21~24MPa 인 콘크리트를 표준강도로 하나 경우에 따라서는 그 이상인 고강도 콘크리트를 사용할 수 있다.

단위결합재량, 물-결합재비, 슬럼프 등의 설계는 상기의 강도 외에 사용 재료 및 시공 조건에 따라 다르다. 통상 콘크리트라이닝에는 보통 포틀랜드 결합재를 쓰지만 수축 균열을 예방할 목적으로 고로 결합재 및 중용열 결합재를 쓰는 경우가 있으므로, 여러 면에서 단위 결합재량의 적정치를 결정하지 않으면 안된다. 또한 비배수형 방수형식 터널에서는 방수목적상 수밀 콘크리트를 사용하여야 하며, 이 경우 재령 28일 강도가 27MPa 이상이 되도록 해야 한다. 한편 터널의 장기적인 안정성이 확보되는 경우나 현장여건에 따라 무라이닝 또는 프리캐스트 라이닝도 적용할 수 있다.

시공법에 대해서는 최근에는 대부분 콘크리트 펌프 등의 기계가 쓰이고 있으나 이 경우 펌프 압송성이 좋은 것으로 한다. 펌프 압송성은 워커빌리티 및 컨시스턴시에 지배되기 때문에 사용 수량과 물-결합재비를 감안하고, 가능한 한 수화열의 고양을 억제하는 것을 염두에 두고 각 배합 제원을 설계해야 한다.

조기에 강도를 얻기 위하여 조강 결합재 및 급결제를 쓰는 일이 있으나 이 경우 콘크리트의 장기 강도 및 콘크리트의 수밀성 확보에 악영향을 미치지 않는가에 대해 충분히 검토해야 할 필요가 있다. 또 운반 시간이 길어지는 경우에는 슬럼프 변동이 생겨서 시공성이 나빠지고 양질의 콘크리트가 얻어지지 않을 염려가 있기 때문에 이들 요소도 고려하여 단위결합재량, 물-결합재비, 단위골재량 및 굵은골재 최대치수 등을 결정해야 한다. 또한 플라이애쉬 등의 혼화재 및 AE제, 유동화제, 급결제 등의 첨가제를 합리적으로 쓰도록 검토하는 방안도 필요하다.



3. 콘크리트라이닝의 보강

일반적으로 도심지의 비배수 방수형식 터널인 경우 철근 등을 이용한 라이닝의 보강이 이루어지나 산악지형을 통과하는 철도터널은 무보강 라이닝을 적용할 수 있다. 그러나 라이닝의 균열억제 및 내구성 증진, 기타 유지보수 비용의 절감 등을 위하여 철근 등을 배근하는 경우가 증가하고 있다.

라이닝의 보강은 통상 철근, 강섬유 및 유리섬유 등을 이용하며, 철근 보강의 경우에는 보강효과가 확실하고 저렴하나 시공성이 나쁜 결점이 있다. 강섬유 보강은 시공성이 용이하나 방수층이 손상될 염려가 있을 뿐만 아니라 비용이 고가인 단점이 있다. 유리섬유 보강은 시공이 용이하고 저렴하나 보강재가 골고루 분산되지 않아 균질한 품질을 확보하기 위해서는 세심한 주의가 필요하다.

일반적으로 적용되는 철근의 경우, 조립시에 철근의 처짐이 발생하고 콘크리트의 피복두께를 유지하기 곤란하므로 철근 지지를 위한 격자형 지보재 등 철근처짐 방지대책을 수립하여 소요 피복두께와 건축한계를 확보해야 한다. 철도터널의 경우, 라이닝부에 부착되는 전기설비와의 간섭이 일어날 수 있으므로 이에 대한 대책을 강구해야 한다.

또한 전구간에 걸쳐 보강할 필요가 없다고 판단되는 경우, 굴착패턴이 열악한 구간에 대한 추가 보강과 터널의 입출구부 인근에 대한 보강을 고려할 수 있으며, 고속철도용 터널의 경우 입출구부 인근 약 100~150m 정도를 보강한 예도 있다. 한편 확폭구간에 대하여는 철근의 처짐을 방지하기 위한 추가적인 대책이 필요하며 격자형 지보재 등이 적용될 수 있다. 또한 철근의 이음시 한단면에 집중되면 콘크리트의 단면적이 감소하고 응력이 집중되어 균열발생의 원인이 될 수 있으므로 철근의 이음위치는 되도록 여러 단면에 걸쳐 분산시켜야 한다.

해설 3. 콘크리트라이닝의 형상 및 두께

1. 콘크리트라이닝의 형상

일반적으로 콘크리트라이닝의 형상은 철도터널의 형상에 맞게 설계하나, 여기에서는 일반적인 형상의 개념을 설명하고자 한다. 콘크리트라이닝의 형상은 아치형으로 하는 것이 보통이며, 소요 내공 단면을 포함하여 굴착 단면 형상에 적합하고, 또 지반압 등의 작용 하중에 충분히 견딜 수 있는 것이어야 한다. 따라서 각각의 터널에 콘크리트라이닝의 목적(공용성, 강도 특성), 시공법 등을 고려하여 검토해야 한다.

그러나 동일한 터널과 동일한 노선 내에서 많은 형상을 이용하는 것은 거푸집의 사용 등 시공상의 편의와 완공 후의 유지 관리 등에 부적절하므로 설계 조건의 변화에 따라 어느 정도 변형할 수 있는 형상을 선정하는 것이 바람직하다.

콘크리트라이닝의 형상을 1심원, 3심원, 5심원 등의 다심원과 직선을 조합하여 아치형으로 설계하는 경우에는 아치로 무리 없이 부드러운 형상이 되게 하기 위해 원, 호, 직선 등이 접속점에서 서로 공통 접선을 가지도록 하는 것이 바람직하다.

급격한 만곡과 모서리, 요철 등의 존재는 아치에 편심 축력이 작용하여 휨모멘트를 증대시키며, 긴 직선부는 그 부분에 작용하는 하중에 의해 휨모멘트를 증가시키기 때문에 이 같은 현상을 피해야 한다. 또한 필요에 따라서는 라이닝 내부표면을 소음저감 효과 등을 고려하여 불규칙한 형상으로 설계할 수도 있다.

<그림 4>에는 아치형 콘크리트라이닝의 형상을 도시하였다. 한편, 지반이 불량한 경우에는 인버트 폐합 콘크리트라이닝을 설치하는 것이 바람직하며 지반압이 큰 경우에는 원형에 가까운 단면으로 지보효과를 높일 필요가 있다.

콘크리트라이닝의 형상은 환기, 조명 등 부속설비와의 관계에 대해서도 충분히 고려할 필요가 있다. 또한 작업갱과 연락갱 등과의 접속부분은 일반부분과 다른 형상이므로 필요에 따라 보강해야 한다. 콘크리트라이닝에 대피소, 전기설비 등의 수납을 위해 벽 공간을 설치하는 경우에는 콘크리트라이닝 전체의 기능에 피해를 주지 않도록 주의해야 한다.

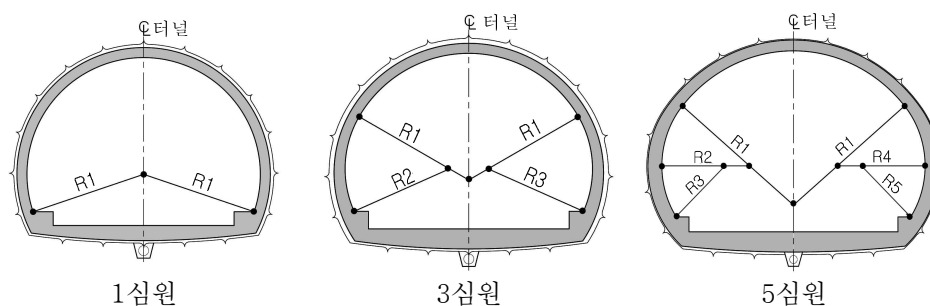


그림 3. 대표적인 콘크리트라이닝 형상



큰 편압을 받는 경우에는 설계두께를 증가시키거나 철근 콘크리트 등으로 콘크리트 라이닝 강성을 증대시키는 대책을 고려해야 하며, 수동토압이 적절하게 작용하여 전체적으로 좌우의 균형이 유지되도록 인버트 콘크리트를 타설하는 방법 등으로 콘크리트 라이닝이 폐합단면이 되게 해야 한다. 또한, 갱구부 등에서는 보강 콘크리트를 타설하는 등의 특별한 배려가 필요한 경우도 있다.

2. 콘크리트라이닝의 두께

2.1 라이닝 두께의 설계

콘크리트라이닝 두께의 설계에 있어서는 콘크리트라이닝의 기능상 필요한 두께, 터널 단면의 크기와 형상, 지반조건, 작용하중, 수압, 사용재료, 시공법 등을 고려하여 설계두께를 결정해야 한다. 또한 숏크리트 등의 지보재를 설계할 때에는 콘크리트라이닝의 두께 확보에 대해 충분한 고려가 필요하다. 특히 숏크리트 등의 시공 오차, 지반압에 의한 터널 변형의 여유량 등을 고려하여 콘크리트라이닝의 설계두께가 확보되도록 설계해야 한다.

지반이 불안정한 경우와 터널 갱구 부근 등을 제외하고는 콘크리트라이닝의 두께는 소단면 철도터널을 기준으로 하여 300mm를 표준으로 하며 단면크기, 형상 및 지반조건 등 현장여건을 감안하여 두께도 적합하게 증감시켜야 한다. 철도터널 라이닝의 두께는 앞서 언급한 바와 같이 터널 내 위치 및 지반의 강도에 따라 좌우되며 본선의 일반구간과 갱구부, 비상시설 및 대형 대피소 등에 대해서는 세분화된 두께범위를 적용할 수 있다.

지반이 나쁜 경우에 인장강도가 작은 무근 콘크리트로 두께를 증가시켜 휨파괴를 방지하는 것은 한계가 있기 때문에 콘크리트라이닝 두께를 증가시키는 것보다는 콘크리트라이닝 형상을 역학적으로 유리하게 하여 인장균열의 발생여지를 줄이고 철근 콘크리트, 섬유보강 콘크리트 등을 이용하여 휨강도를 증가시킬 필요가 있다.

철근으로 보강하여야 할 경우에는 시공성을 고려하여 두께를 산정하고 작용하중에 대하여 충분한 구조적 안전성을 보유하도록 설계해야 한다. 이 경우 시공이음부에 타설된 콘크리트의 품질을 향상시키고 시공성을 증진시키도록 하는 방안을 강구해야 한다. 필요에 따라 종방향 철근을 단절시킬 수 있되 단절에 따른 보강조치를 취해야 한다.

2.2 콘크리트라이닝 두께의 허용량

원론적으로, 구조적으로 콘크리트라이닝의 요구 단면적을 충족시켜야 하나, 견고한 원지반에 부분적인 돌출이 있는 경우 역지로 파내기를 함으로써 도리어 원지반을 흐트러뜨려 느슨한 하중을 증대시킬 우려가 있을 경우에는 부분적인 설계두께 감소를 인정할 수 있다.

이 허용량에 대해서는 터널의 사용 목적이나 암석의 견고성에 따라서 다르므로 시공 시에는 사전에 정해 두어야 한다. 일반적으로 국소부위에서는 100mm 또는 설계두께의 1/3값 중 작은 값 이상을 초과하지 않는 범위 내의 시공오차를 허용할 수 있다. 단, 허용오차 범위 내인 경우에도 콘크리트라이닝의 구조적 기능을 유지할 수 없는 경우에는 재시공 등 별도의 대책을 수립해야 한다.

여기서, 국소부위는 설계두께의 2배와 같은 일변의 길이를 갖는 정사각형의 면적 또는 이와 동일한 면적을 갖는 독립된 부위를 말한다.

2.3 소단면 콘크리트라이닝의 두께

지하환기소, 집진기실, 피난갱 및 각종 연락갱의 환기·방재상 만들어지는 터널은 보통 터널에 비하여 그 크기나 기능이 상당히 다를 때가 있다. 이때에는 터널 규모에 따라서 필요한 콘크리트라이닝 설계두께를 정해야 한다.

이때에도 터널의 안정 후에 안전율을 높이는 목적으로 설치하는 콘크리트라이닝은 원지반 조건이나 터널의 기능을 고려하여 이것을 생략하는 검토가 필요하다. 또 대피갱이나 잠정 시공으로 장래 제거할 예정인 소단면 터널에서는 특별히 문제가 있는 구간을 제외하고는 콘크리트라이닝을 생략하는 것이 바람직하다.

3. 콘크리트라이닝의 품질관리

콘크리트라이닝의 시공전에 반드시 내공 및 선형측량을 실시하여 콘크리트라이닝의 설계두께를 확보할 수 있는지 여부를 확인하여야 하며, 설계두께 확보가 불가능한 부분에 대하여는 기시공된 지보재를 재시공하여 설계두께를 확보하는 것이 바람직하나 현장여건을 고려해야 한다. 즉, 철근보강, 섬유보강, 콘크리트 강도증대 등 별도의 조치로 구조물의 기능을 확보할 수 있는 경우에는 예외가 될 수 있다.

콘크리트라이닝의 시공 허용오차는 다음을 기준으로 현장여건에 맞게 증감할 수 있다.

- 선형중심 : 10mm 이하
- 노반시공기면으로부터 천장까지의 높이 : 0 ~ +30mm
- 내공폭(스프링라인 기준) : +20mm 이상
- 내공단면 높이 : +30mm 이상
- 라이닝콘크리트 두께 : 국부적으로는 $\pm 100\text{mm}$ 또는 설계두께의 1/3값 중 작은 값을 택하며 평균두께는 설계두께 이상
- 내공단면적(A) : + 0.005A

한편, 라이닝 콘크리트용 거푸집 철판의 변형오차는 2m 구간마다 4mm 이내를 기준으로 해야 한다.



4. 콘크리트라이닝의 거푸집

4.1 콘크리트라이닝 거푸집의 설계 및 설치

거푸집의 구조는 1회마다 콘크리트 타설량, 타설길이, 타설속도 등을 고려하여 타설된 콘크리트의 압력에 견딜 수 있도록 설계해야 한다. 거푸집의 설치는 터널 중심측량에 의한 배수콘크리트 측벽을 먼저 설치하고 이를 기준으로 거푸집을 조립하여야 하며, 배수콘크리트 측벽과 라이닝 콘크리트 시공이음부는 일체가 되도록 하여 측벽하부의 변형을 방지해야 한다.

한편 콘크리트와 접하는 거푸집면은 설치하기 전에 청소를 깨끗하게 하고 거푸집 철거시 콘크리트가 부착되지 않도록 박리제를 도포해야 한다. 또한 이동용 궤도는 거푸집이 안정되게 이동할 수 있는 구조이어야 하며 콘크리트 타설시나 이동시 침하가 생기지 않도록 견고하게 설치해야 한다.

4.2 콘크리트라이닝 거푸집의 제거

라이닝용 콘크리트의 타설은 좌우대칭이 되도록 하여 거푸집에 편압이 발생하지 않도록 하고 적정 설비 및 장비를 사용하여 다짐을 시행한다. 이 때 재료의 분리가 일어나지 않도록 콘크리트 타설위치에 따라 거푸집의 투입구를 적정위치로 조정하여 공극이 발생하지 않도록 한다. 또한 정해진 당해 타설분량의 콘크리트는 연속하여 타설하여야 하며 재료의 분리가 일어나지 않도록 적정 타설속도를 유지해야 한다. 거푸집에 부착된 유압잭은 콘크리트 압력으로 뒤틀림이 생기지 않도록 충분한 안전율을 확보해야 한다.

한편, 거푸집은 원칙적으로 거푸집 제거로 인한 콘크리트의 품질 손상이 발생하지 않는 시기에 제거하여야 하며 일반적으로 콘크리트의 강도가 3MPa 이상 발현된 후 혹은 콘크리트라이닝의 자중을 견딜 수 있는 강도가 발현된 후에 제거하여야 하나 거푸집 제거시기에 대한 별도의 검증을 실시하는 경우에는 제거시기를 조정할 수 있다. 또한 확폭구간 등에 대해서도 일관된 작업을 위하여 가변 확장형 거푸집의 도입을 고려하여 공기 및 공사비의 절감을 도모할 수 있다.

4.3 터널 천장부의 처리

터널 천장부의 콘크리트 채움을 검사하기 위하여 거푸집 각 스펠마다 지름 약 10mm 파이프를 천장부 양단에 각각 매입하여 채움상태와 공극을 조사할 수 있게 한다. 한편 콘크리트 펌프로 천장부의 콘크리트를 타설하기 위하여 공기 승압기(Air Booster)를 사용하는 경우에는 아직 굳지 않은 콘크리트 내 300mm 정도 깊이에 공기 배출 파이프를 매설하여 콘크리트가 잘 충전되도록 하고 콘크리트 타설 후 순차적으로 뽑아야 한다. 콘크리트 타설 파이프에 공기승압기를 연결하는 경우, 압축공기

가 파이프 단면 상부에서 배출되도록 파이프 출구 5m 이내의 거리에서 파이프의 하부 혹은 측면에 연결해야 한다.



해설 4. 콘크리트라이닝의 균열방지대책

1. 콘크리트라이닝의 균열발생원인

일반적으로 콘크리트라이닝에 발생하는 균열은 외부 작용하중에 의해 인장응력의 증가로 발생되는 균열보다는 주로 건조수축 등의 콘크리트 자체의 특성에 따라 발생하는 경우가 많다. 이러한 특성으로부터 콘크리트의 인장응력과 인장강도가 같아질 때 균열이 발생하게 되며, 철근 등의 보강을 실시하여도 균열의 발생을 피할 수는 없으나, 적절한 보강으로 균열의 폭과 분포를 제어할 수 있다.

콘크리트라이닝에 발생하는 균열의 주된 원인은 아래와 같다.

- 콘크리트 경화온도 강하에 따른 온도신축
- 터널 내 온도의 변화에 따른 온도신축
- 터널 내 습도의 저하에 의한 건조수축
- 주변의 변화에 따른 추가하중의 증가
- 콘크리트라이닝의 두께부족
- 슬럼프(Slump)가 큰 콘크리트의 타설
- 콘크리트라이닝과 원지반과의 사이의 공극에 의한 휨모멘트 혹은 편압의 발생
- 하중의 작용
- 숏크리트와 콘크리트라이닝면이 점접촉 되었을 경우, 기 건조수축 등에 의한 인장응력의 발생
- 콘크리트라이닝 타설시 요철이 심한 숏크리트면에서 방수재가 오목한 부위로 빨려 들어가 천장부의 처짐에 의한 콘크리트라이닝의 두께 부족
- 지하수압의 작용
- 지반의 시간의존적 거동
- 지반의 이완으로 인한 이완하중의 작용 등

또한, 콘크리트라이닝에 발생하는 전형적인 균열의 종류들은 아래와 같다.

- 측벽하부에 발생하는 수직균열 : 인버트 슬래브와 아치 사이 시공이음부의 종방향 온도 변화와 건조 수축으로 인하여 중앙부에 발생
- 터널 천장부의 중심선을 따라 발생하는 종방향 균열 : 횡방향 온도변화 및 건조수축 또는 터널 상부에 라이닝 채움의 부족으로 인한 터널 천장부에 발생. 또한 터널 상부지반의 이완으로 인한 이완하중의 작용 및 측벽 하단부 기초부분 침하로 인한 횡방향 라이닝 거동 등
- 불규칙한 균열 : 콘크리트라이닝의 두께가 균일하지 못한 경우

2. 콘크리트라이닝의 균열방지대책

상기 요인에 의한 균열은 콘크리트라이닝의 강도 특성을 저하시킴과 동시에 콘크리트의 수밀성을 현저하게 떨어뜨려 누수, 고드름, 동결·융해 등의 원인이 되며, 콘크리트라이닝의 내구성, 안전성, 공용성 등을 해치게 된다. 따라서 이와 같은 염려가 있는 경우에는 터널의 사용 목적, 사용 조건, 환경 조건 등을 고려하여 적절한 균열 대책을 강구해야 한다. 특히 용출수가 많은 구간 및 외부 기후의 영향을 받기 쉬운 갱구 부근 및 길이가 짧은 터널에서는 충분한 검토가 필요하다. 일반적으로 균열방지대책 구간은 터널 입구로부터 50 m 이내로 설치하는 것이 바람직하다.

콘크리트라이닝의 균열 방지 방법으로 효과적인 대책이 제안되지 못하고 있으나 균열발생의 정도를 저하시킬 목적으로 다음과 같은 방안도 고려할 수 있다.

- 숏크리트와 콘크리트라이닝의 평활한 접속(절연)
- 콘크리트 배합시 팽창제의 첨가, 혼합결합제, 유동화제 등을 첨가하여 수화열과 건조 수축량을 감소
- 콘크리트라이닝의 타설 순서 조정. 특히 측벽부와 천장부에 대해 시간차를 두고 분리시공하는 방안
- 필요시 누수대책이 고려된 균열유발 줄눈의 설치
- 균열 방지용 철근, 철망배치 및 천장부에 대한 섬유보강콘크리트 사용
- 습윤양생 실시 및 내외부 온도차를 줄이기 위한 출입문 등의 보온대책 강구

이들 중에서 숏크리트와 콘크리트라이닝의 절연의 경우, 절연이나 절연공은 방수 시트 및 절연 시트를 붙이는 시공 예가 많으나, 아스팔트 에멀전, 말포 모르타르 등의 절연재의 뽐어붙이기에 의한 방안도 시도되고 있으며, 방수 시트의 사용은 균열의 방지뿐만 아니라 방수의 효과도 있다.

콘크리트의 품질 개량을 위해 콘크리트에 팽창제, 유동화제 등을 첨가하고 철망을 넣는 시공법은 균열의 발생량을 작게 하는 효과는 있지만 확실성이 부족하므로 사용시 충분한 검토가 필요하다.

균열 발생의 위치나 방향을, 미리 설치한 줄눈으로 제어하도록 하는 유발 줄눈 혹은 신축이음은 경제적이고 균열을 적게 하는 효과는 있지만, 품질의 개량과 마찬가지로 확실성에는 부족한 면이 있다. 또한, 유발 줄눈으로부터 누수가 문제가 될 염려가 있는 경우에는 줄눈부의 도수공 및 콘크리트라이닝 배면에 지수 시트 설치 등을 검토할 필요가 있다.

고속철도용 터널과 같이 대단면 터널을 시공할 때 신축이음 간격은 개착부의 경우 20m, 굴착부의 경우 다음의 사항을 고려하여 선정한다.

- ① 외부 기온영향이 있는 개착연장을 제외한 갱구부 60m구간(수정동결지수가 700°C · 일 이상인 지역은 개착연장을 포함한 입출구부로부터 300m)은 30m간격으로



설치한다.

② 급·배기 환기구 구간은 30m 간격으로 설치한다.

③ 단면변화부(복선→확폭터널 또는 2-Arch (3-Arch), 신호통신 통합 기재갱 위치), 철근라이닝과 무근라이닝 접합부구간, 급격한 지층변화구간 등에서는 신축이음추가 설치한다. 또한, 개착터널과 NATM터널의 접합부는 신축이음을 한다.

시공이음은 10m를 표준으로 하되, 시공이음과 신축이음의 중복부는 신축이음을 원칙으로 한다. 시공 및 신축이음부의 간격은 라이닝 거푸집의 길이에 따라 신축적으로 조정하고 라이닝의 시공이음부는 신축이음부 사이에 약 10m 간격으로 설치하는 것이 일반적이나 길이를 증가시키는 경우도 있다. 또한, 라이닝부의 균열발생 요인을 최소화하기 위해 보조도상부, 공동구 및 라이닝부의 이음을 동일한 위치에 설치하는 것이 좋다. 시공이음과 신축이음재는 열차풍, 열화 등으로 탈락 또는 처짐이 발생하지 않도록 일체형 프로파일 설치를 원칙으로 하며, 부득이한 경우 분리형 프로파일을 설치하되 라이닝 콘크리트 양생 후 제거하여야 한다.

해설 5. 인버트 형상과 처리

1. 인버트형상 및 설치

인버트의 형상 및 설치는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- 원지반의 특성에 따라 콘크리트라이닝 기초 지지력 및 활동안정성을 검토 후 필요 시 인버트 부분에 콘크리트라이닝의 설치여부를 결정해야 한다
- 팽창성지반, 압축성지반 및 함수미고결층 지반 등 특수한 지반에서는 인버트 콘크리트라이닝의 타설 시기를 추가로 검토하여야 하며 특히 지반이 불량한 경우에는 숏크리트에 의한 인버트 부분의 보강도 고려해야 한다.
- 지형 조건상 편압으로 인하여 터널의 안정성에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우 인버트 부분의 형상을 곡선형으로 적용하는 것을 원칙으로 해야 한다.
- 인버트 폐합 콘크리트라이닝은 측벽과 일체가 되어 외력에 안전하게 저항할 수 있는 형상이 되도록 설계해야 한다.
- 곡선형 인버트의 곡선부분 깊이는 지형 및 지반조건에 따라 정하여야 하며, 시공성 및 경제성 등도 검토해야 한다.
- 직선형 인버트를 적용하는 터널의 경우도 터널의 용도, 유지관리 등을 고려하여 인버트 부분에 콘크리트라이닝을 타설할 수 있다.
- 콘크리트라이닝 공동구 기초 폭은 지지력 및 활동안정성을 고려하여 복선단면은 최소 1.2m, 단선단면은 좌우측 각각 최소 0.75m 및 1.2m를 확보하는 것이 바람직하다. 이 때, 최소 기초폭은 측방배수관 설치공간을 포함한 치수이다.

인버트의 깊이에 대하여는 아직까지 명문화된 규정이 없고 현장상황에 따라 가변적으로 적용하는 방안이 적합하지만 일본의 경우, 단선터널에서는 약 150~200mm, 복선터널에서는 200~300mm 정도의 두께를 적용하고 있으며 특수한 경우에는 500mm 까지 적용한 사례가 있다.

2. 터널인버트 처리

인버트 폐합 콘크리트라이닝이 없는 경우의 인버트에는 궤도보수 유지관리를 위하여 필요한 경우 보조도상 콘크리트를 타설하여야 있다. 이 경우, 보조도상 콘크리트의 두께는 150mm 이상, 강도는 18MPa 이 되도록 하며 균열방지를 위하여 철망을 시공할 수 있다. 다만 터널 굴착 시 발생하는 바닥 여굴부를 보조도상 콘크리트층과 동일한 규격의 콘크리트로 여굴부를 채우고 보조도상 콘크리트와 동시 시공하여 콘크리트 층 분리가 없도록 시공한 경우 보조도상 콘크리트 두께를 100mm까지 축소*할 수 있다.

* 보조도상 콘크리트(100mm) + 최소여굴(50mm) = 150mm 이상



해설 6. 콘크리트라이닝의 뒤펀 주입

1. 뒤펀 주입의 역할

샷크리트 및 라이닝의 일체화를 위하여 라이닝의 뒤펀을 실시해야 한다. 이 때 콘크리트라이닝이 주입압력에 견딜 수 있는 강도에 도달한 후, 가능한 한 조기에 주입을 실시해야 한다.

2. 뒤펀 주입공의 배치

주입관은 라이닝 완성 후에 착암기로 천공해서 설치하는 수도 있으나 라이닝 콘크리트 타설시에 미리 매입해 두는 편이 주입의 효과를 향상시키는데 유리하며, 작업능력도 좋다. 이 때, 주입관의 위치, 간격 및 배열 등에 따라 주입량 혹은 주입 효과에 차이가 생기게 된다. 또한, 주입관은 주입확인용 구멍으로서도 필요하므로, 장래 주입을 할 구멍 외에 될 수 있으면 많이 설치해 두는 것이 바람직하다.

<그림 4> 및 <그림 5>는 주입관의 배치 예 및 주입관의 상세를 나타내며 일반적으로 내경 50mm PVC파이프를 사용해야 한다.

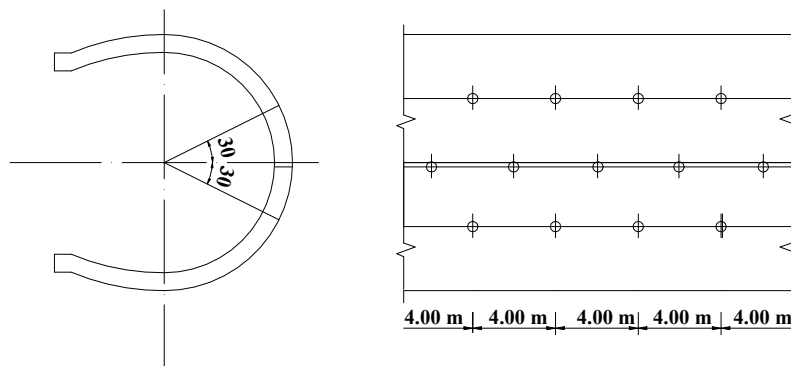


그림 4. 주입관의 배치 예

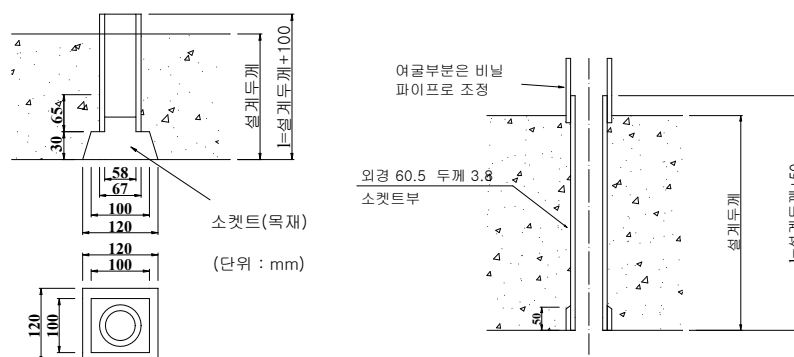


그림 5. 주입관의 예

3. 뒤펀 주입재 및 주입압

주입은 주입재료, 사용기계, 주입압 등에 따라 방식이 다르므로 공극이나 뒤펀 원지반의 상태, 주입의 시공조건 등에 따른 적절한 재료를 선정하고, 이에 대한 설계를 해야 한다. 주입재료로 사용되는 모르타르는 주입작업시의 분리, 특히 고형물의 침전이 적고, 또 주입후의 체적수축이 될 수 있으면 작은 것이 좋고, 이 때문에 배합재료 중에 무수축성의 혼화재를 첨가하는 것이 바람직하다. <표 9>는 실제 배합의 예를 나타낸다. 라이닝 뒤펀에의 주입재료의 강도는 콘크리트와 동등의 강도는 필요하지 않으나 주입후 강도가 1MPa 이상이 되도록 해야 한다.

주입압은 라이닝에 균열이 발생하지 않는 범위 내에서 산정하되 0.2~0.4MPa 이하로 주입하는 것을 원칙으로 하며, 균열이 예상되는 부위에 대하여는 사전에 방지대책을 수립해야 한다.

표 9. 배합 예

유하시간 (s)	공기량 (%)	결합재 (kg)	물 (kg)	잔골재 (kg)	기포제 (kg)	물결합재비 (%)	설계기준강도 (MPa)
25±5	40±5	150	195	900	3.45	130	1 이상

그라우팅 장비는 그라우트 믹서(Grout Mixer)로 재료를 혼합하여 그라우트 펌프로 주입하며 콘크리트 타설전에 뒤펀 주입파이프를 매설할 때에는 콘크리트 타설시 구멍이 막히지 않도록 나무를 깎아서 틀어막아야 한다. 또한 콘크리트 타설 후 뒤펀 주입구멍을 뚫을 때에는 기 시공된 콘크리트라이닝이 손상되지 않는 공법으로 뚫어야 한다.

주입시에는 주입구간을 1, 2, 3구간 또는 1, 2구간으로 나누어 계획량을 한꺼번에 고압으로 주입하지 말고 1단계부터 3단계까지 저압에서 단계별로 조정하여 뒤펀을 완전하게 충전하도록 한다. 또한 뒤펀 주입 시공전 반드시 재료를 시험배합하여 주입 장비로 주입압력을 시험한 후 시공해야 한다. 라이닝 뒤펀을 주입하고 경화 후 검사를 코어채취로 할 수 있으나 과학적으로 전 구간을 확인하는 전산화기법으로 검사하여 검사결과를 작성해야 한다.



RECORD HISTORY

- Rev.0('12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는 데 목적을 둬.
- Rev.1('14.11.17) 콘크리트 라이닝에 추가적인 하중이 발생하는 경우를 제외한 산악터널 등의 일반적인 조건에 한해 적용 및 경제적이고 합리적인 지반하중 산정식 개발을 독려하기 위한 것으로 지반하중 산정에 사용되는 검증된 다양한 프로그램 사용 필요
- Rev.2('20.06.10) “철도 터널설계 선진화 용역” 성과를 반영하여 콘크리트 라이닝 기초 안정성 검토, 취약지반에서 인버트 라이닝 설치, 보조도상 콘크리트 두께 기준, 터널 동결피해 대책 기준 제시
- Rev.3('21.03.03) 터널라이닝 시공이음 및 신축이음부에 분리형 프로파일 설치시 탈락 및 처짐에 따른 열차운행장애 등 예방을 위해 일체형 프로파일을 설치토록 기준 반영