

제 6 장 콘크리트 라이닝 설계

6.1 콘크리트 라이닝 일반

6.1.1 개요

- (1) 터널의 콘크리트 라이닝은 터널의 사용 조건에 적합한 설계를 하여야 한다.
- (2) 장기간 토압 등의 하중에 견디고, 균열, 변형, 붕괴 등이 생기지 않아야 한다.
- (3) 누수 등에 의한 침식이나 강도의 감소 등이 없는 내구적인 것이어야 한다.
- (4) 장래에 개수를 하는 일이 없도록 충분한 고려를 하여야 한다.
- (5) 콘크리트 라이닝을 생략하고 프리캐스트 판으로 라이닝을 대신하는 경우에는 충분한 안정성과 내구성을 고려할 필요가 있다.

6.1.2 콘크리트 라이닝의 목적 및 기능

(1) 공용성 측면

- ① 지하수 등의 누수가 적고 수밀성이 양호한 구조물이 될 것
- ② 사용 중 점검, 보수 등의 작업성이 높을 것
- ③ 터널 내의 가선, 조명, 환기 등의 시설을 지지할 것
- ④ 차량 운행 중 전조등에 의한 산란이 균등할 것

(2) 강도 특성 측면

- ① 변형이 수렴하지 않은 상태에 라이닝을 시공하는 경우에는 터널의 안정에 필요한 구속력을 가질 것
- ② 라이닝 시공 후 수압, 상재 하중 등에 의한 외력이 발생하는 경우 이를 지지할 것
- ③ 지질의 불균일성, 지보공 품질의 저하, 록볼트의 부식 등 불확정 요소를 고려하여 구조물로서의 안전율을 증가시킬 것
- ④ 사용 개시 후 외력의 변화와 지반, 지보공 재료의 열화에 대한 구조물로서의 내구성을 향상시킬 것
- ⑤ 조립식 라이닝(segment)의 경우 제작, 운반, 취급, 설치와 기타 시공 중에 작용하는 외력에 견딜 수 있을 것

[표 6.1.1] 콘크리트 라이닝의 기능

기 능	적 용 대 상	내 용
구조체로서의 역학적 기능	1차 지보재가 영구 구조물로서 안전율이 없다고 판단되는 경우	shotcrete에 균열이 발생하고 록볼트에 큰 축력이 작용하여 응력 저항부의 크리프나 볼트의 부식에 의하여 1차 지보재로부터 응력이 2차 라이닝에 전달될 가능성이 있다고 보는 경우
	변위가 수렴되기 전에 2차 라이닝을 시공하는 경우	1차 지보 단계에서 변위가 수렴되어야 하나 공정상의 이유로 2차 라이닝을 변위 수렴 전에 시공하는 경우 토압을 고려하여 설계
	토사 지반 등에서 토피가 작은 경우	토사 지반 등에서 토피가 작은 경우 지하 공동 구조물이 주변 환경에 영향을 받기 쉬우므로 적절한 상재 하중에 의해 역학적 검토가 필요하며, 장차 토피의 경감이 예상되는 경우도 이를 고려하여야 한다.
	장래에 수압이 걸릴 것으로 예상되는 경우	지하 공동 시공후 주변 환경 조건에 의해 배수가 불가능해질 가능성이 있는 경우는 정수압을 고려하여 설계한다.
용수가 있는 터널에서의 내압 기능	완전 방수가 요구되는 경우	방수 슈트를 사용 완전방수를 실시하는 경우는 2차 라이닝에 정수압이 작용하므로 수압을 고려하여 설계한다.
영구 구조물로서의 내구성 확보	1차 지보의 내구성이 우려되는 경우	1차 지보가 시간의 경과에 따라 강도 저하, 박리, 열차진동, 지진 등으로 내구성이 우려되는 경우 영구 구조물 기능에 비교적 신뢰도가 높은 2차 라이닝 설계
	유지 관리상 필요한 경우	지하 공동 내의 설비, 전기 등의 유지 관리 또는 미관상 습도 조절 등의 2차 라이닝 설계

6.2 재료 및 강도

6.2.1 콘크리트 라이닝의 재료

- (1) 일반적으로 현장 무근 콘크리트가 이용되고 있다.
- (2) 라이닝의 강도가 크게 요구되는 경우에는 철근 콘크리트, 강섬유 보강 콘크리트 등을 이용하여 보강하고 인버트를 설치하여 폐합시키는 구조로 설계하며, 지보 기능을 높일 필요가 있다.
- (3) 현장 여건에 따라 프리캐스트 라이닝도 적용할 수 있다.
- (4) 배합 설계에 있어서는 소정의 강도가 얻어지고, 충분한 내구성과 양호한 시공성을 얻을 수 있도록 하여야 한다.
- (5) 균열 억제 및 내구성 증진 등을 위하여 철근 이 외에 강섬유 또는 유리섬유를 사용할 수 있다.

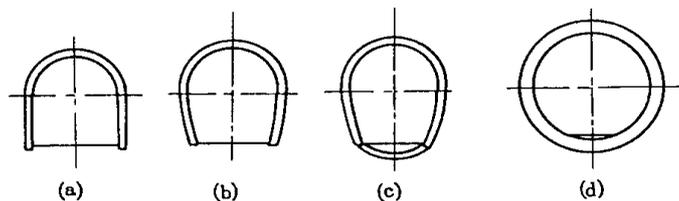
6.2.2 콘크리트 라이닝의 강도

- (1) 콘크리트의 배합은 소요 강도, 내구성 및 양호한 시공성이 얻어질 수 있도록 결정하여야 한다.
- (2) 사용골재는 양질이며 내구성이 우수하여야 하고, 염분 및 유기물 등의 유해성분이 허용 기준치 이하여야 한다.
- (3) 콘크리트 라이닝의 소요 강도는 지반특성, 콘크리트 라이닝의 형상, 지보재의 종류 및 라이닝에 작용하는 하중 등에 적합하도록 설정하여야 한다.
- (4) 일반적으로, 재령 28일 강도가 21~24MPa인 콘크리트를 표준강도로 하는 것을 원칙으로 하되, 경우에 따라서는 그 이상인 고강도 콘크리트를 사용할 수 있다.
- (5) 비배수형 터널에서는 방수 목적상 수밀콘크리트를 사용하여야 하며, 이 경우 재령 28일 강도는 27MPa 이상이 되도록 하여야 한다.
- (6) 조기에 강도를 얻기 위하여 조강 시멘트 및 급결제를 쓰는 경우 악영향을 미치지 않는가에 대해 충분히 검토할 필요가 있다.
- (7) 운반 시간이 길어지는 경우에는 단위 시멘트량, 물 시멘트비, 단위 골재량 및 굵은골재 최대치수 등을 결정하여야 한다.
- (6) 또한 플라이애쉬 등의 혼화재 및 AE제, 유동화제, 급결제 등의 첨가제를 합리적으로 쓰도록 검토하는 방안도 필요하다.

6.3 콘크리트 라이닝의 형상

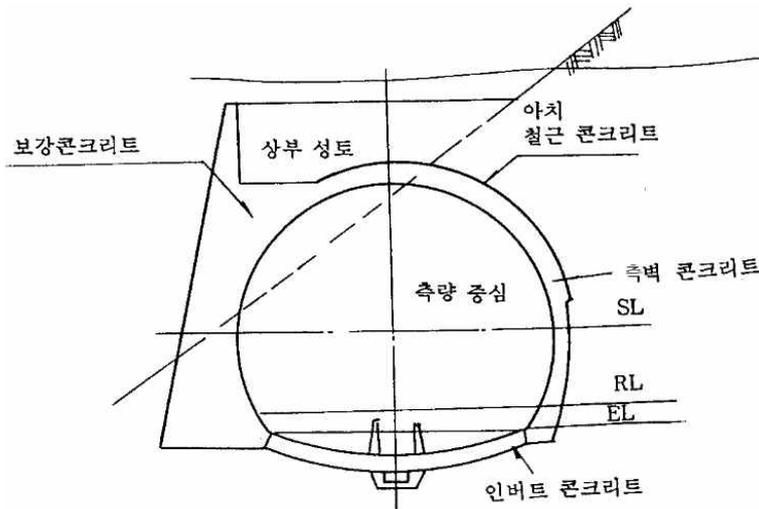
6.3.1 형 상

- (1) 콘크리트 라이닝의 형상은 소요 내공단면을 포함하며 국부적으로 발생하는 과도한 응력집중을 방지하고 힘모멘트가 작게 발생하도록 급격한 만곡, 모서리, 요철 등을 피하여야 한다.
- (2) 콘크리트 라이닝의 형상을 1심원, 3심원, 5심원 등의 다심원과 직선을 조합하여 아치형으로 설계하는 경우에는 아치로 무리없이 부드러운 형상이 되게 하기 위해 원, 호, 직선 등이 접속점에서 서로 공통 접선을 가지도록 함이 바람직하다.
- (3) 동일한 노선 내의 공사에서는 특별한 경우를 제외하고 시공성과 완성 후의 유지관리를 고려하여 기급적 동일한 단면형상이 되도록 설계하여야 한다.
- (4) 콘크리트라이닝의 형상설계 시 환기, 조명 등의 부속설비와의 관계를 고려하여 계획하여야 한다.
- (5) 지반조건과 형상
 - ① 지반 조건이 악화됨에 따라 변하는 순서로 지반 특성과 라이닝 형상 변화



<그림 6.3.1> 지반 특성에 따른 콘크리트 라이닝 형상

- ② 약간 곡률이 있는 측벽을 조합하고, 불량한 경우에는 인버트를 설치하는 것이 바람직하다.
 - ③ 토압이 큰 경우에는 원형에 가까운 단면으로 지보 효과를 높일 필요가 있다.
 - ④ 갱구부 등에서는 보강 콘크리트를 타설하는 등의 특수한 경우도 있다. (<그림 6.3.2> 참조)
- (6) 지반 조건이 불량한 경우
- ① 인버트 설치가 요구된다.
 - ② 심한 편토압을 받는 경우에는 두께를 증가시키거나 철근 등으로 콘크리트 라이닝의 강성을 증대시키는 방안을 검토하여야 한다.
 - ③ 인버트 설치시는 원지반의 특성에 따라 터널 단면 형상과 인버트 설치여부를 결정하여야 하며 특수한 지반에서는 인버트의 타설 시기도 검토한다.
- (7) 특히 지반이 불량한 경우
- ① 숏크리트에 의한 인버트도 고려해야 한다.
 - ② 또한 인버트는 측벽과 일체가 되어 외력에 안전하게 저항할 수 있는 형상이 되도록 해야 한다.
 - ③ 인버트의 두께는 지형과 지반조건에 따라 정하여야 하며, 시공성 및 경제성 등도 검토하여야 한다.



<그림 6.3.2> 보강 콘크리트(갱구부) 및 인버트 콘크리트 타설 예

- (8) 피난연락갱의 콘크리트 라이닝¹⁾
- ① 라이닝 기초부는 구조해석에 영향을 미치지 않는 부분에 해당된다.
 - ② 시공성을 고려하여 라이닝 기초 저면을 포장 단면의 저면과 일치되게 시공할 수 있도록 라이닝 기초높이를 축소(H=600mm→300mm)한다.
 - ③ 노면 양측에 설치된 노면배수로는 터널벽면 청소용 노면수 배출을 위해 설치된 것이다.
 - ④ 피난연락갱내는 타일 불임을 하지 않으며 비상시에만 이용하는 점 등을 고려할 때 노면배수로는 설치하지 않는다.
 - ⑤ 측방배수관(∅150mm) 사용시 라이닝 철근과 저촉되므로 시공성 향상을 위하여 현행 측방배수관 규격(∅100mm)을 유지한다.

1) 터널 피난연락갱 라이닝 기초단면 개선(건설계획처-4471, 2006.12.18)

6.3.2 콘크리트 라이닝의 설계 두께

- (1) 콘크리트 라이닝의 두께는 터널단면의 크기와 형상, 지반 조건, 작용하중, 수압, 사용재료, 시공법 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (2) 콘크리트 라이닝의 두께는 소단면터널을 기준으로 300mm를 표준으로 하는 것을 원칙으로 하고, 단면적과 지반 조건 등 현장 여건을 감안하여 증감할 수 있다.
- (3) 철근으로 보강하여야 할 경우
 - ① 시공성을 고려하여 두께를 산정하고 작용하중에 대하여 충분한 구조적 안전성을 보유하도록 설계하여야 한다.
 - ② 이 경우 시공이음부에 타설된 콘크리트의 품질을 향상시키고 시공성을 증진시키도록 하는 방안을 강구하여야 한다.
 - ③ 필요에 따라 종방향 철근을 단절시킬 수 있되 단절에 따른 보강조치를 취하여야 한다.
- (4) 철근으로 보강하여 콘크리트 라이닝을 타설할 경우 철근 처짐 방지대책을 수립하여 소요 피복 두께와 시설한계를 확보하여야 한다.
- (5) 두께의 허용량
 - ① 콘크리트 라이닝 두께 내에는 강지보재의 강재는 들어가도 좋으나 목재는 들어가지 않도록 설계하여야 한다.
 - ② 견고한 원지반의 부분적인 돌출은 억지로 때내기를 해도 도리어 원지반을 흐트러 뜨려 느슨한 하중을 중대시킬 때가 있으므로 두께선 내에 들어가는 것을 인정하여야 한다.
 - ③ 이 허용량에 대해서는 터널의 사용 목적이나 암석의 견고성에 따라서도 다르므로 시공시에는 사전에 정해 두어야 하나 여기서는 부분적인 돌출에 한하여 설계 두께의 1/3 정도 또는 100mm 정도를 허용 한도로 한다.
- (6) 대단면, 소단면 콘크리트 라이닝 두께
 - ① 지하 환기소, 집진기실, 피난갱 및 각종의 연락갱의 환기방재상 만들어지는 터널은 보통 터널에 비하여 그 크기나 기능이 상이하므로 터널 규모에 따라서 필요한 콘크리트 라이닝 설계 두께를 정하여야 한다.
 - ② 이 경우 터널의 안정후에 안전율을 높이는 목적으로 설치하는 라이닝은 원지반 조건이나 터널의 기능을 고려하여 검토 후 생략할 수도 있다.
 - ③ 대피갱이나 잠정 시공으로 장래 제거할 예정인 소단면 터널에서는 특별히 문제가 있는 구간을 제외하고는 라이닝을 생략하는 것이 바람직하다.
- (7) 콘크리트 라이닝에 재하되는 하중
 - ① 콘크리트 라이닝에 재하되는 하중은 아주 다양하며 지질 상황, 지하수의 상황, 시공법 등에 따라 크게 변화된다.
 - ② 풍화암과 같이 지반 조건이 나쁜 구간에서 커다란 편토압이 작용할 때, 토피가 얇은 원지반, 큰 소성토압이 생기는 지반, 팽창성 지반, 수압이 작용하는 지반 등에 대해서는 별도로 검토하여 설계 두께를 정하여야 한다.
 - ③ 콘크리트라이닝의 두께를 필요 이상으로 크게 하는 것은 굴착 단면이 커지고 하중이 증가하는 등 불리하게 되므로 힘에 강한 철근 콘크리트 구조, 강섬유 보강 콘크리트로 시공하거나 임시 라이닝을 시공하여 안정하게 한 후 본 라이닝을 시공하는 등의 대안 검토가 필요하다.

6.4 콘크리트라이닝의 보강

6.4.1 균열 방지 대책

- (1) 콘크리트 라이닝에 과도한 하중이 작용한 경우, 변형 형상에 따라 균열과는 별도로 주로 콘크리트의 변형이 쇼크리트 등에 의해 외부가 구속되어 인장응력이 생기며, 이 응력에 의해 균열이 발생하기 쉽다.
- (2) 콘크리트 라이닝에 신축 변형의 발생 원인
 - ① 콘크리트의 경화 온도의 강하에 의한 온도 신축
 - ② 터널 내 온도의 변화에 의한 온도 신축
 - ③ 터널 내 습도의 저하에 의한 건조 신축
- (3) 이러한 균열은 콘크리트 라이닝의 강도 특성을 저하시킴과 동시에 콘크리트의 수밀성을 현저하게 떨어뜨려 누수, 고드름, 동결 용해 등의 원인이 되며, 라이닝의 내구성, 안정성, 복공의 내구성, 안전성, 공용성 등을 해치게 된다.
- (4) 이와 같은 균열 발생 염려가 있는 경우에는 터널의 사용 목적, 사용 조건, 환경 조건 등을 고려하여 적절한 균열 대책을 강구하여야 한다. 특히 용수가 많은 구간 및 외부 기후의 영향을 받기 쉬운 갱구 부근 및 길이가 짧은 터널에서는 충분한 검토가 필요하다.
- (5) 균열 방지 대책
 - ① 쇼크리트의 절연(외부 구속의 저감)
 - 가. 가장 효과적이고 확실한 방법으로 방수 시트 및 절연 시트를 붙이는 시공 예가 많이 있다.
 - 나. 아스팔트, 에멀전, 발포 모르타르 등의 절연재의 뿔어붙이기에 의한 것도 시도되고 있다.
 - 다. 또, 방수 시트의 사용은 균열의 방지 뿐만 아니라 방수의 효과도 있다.
 - ② 콘크리트의 개량(신축 변형의 감소 또는 인장강도의 증가)
 - 가. 콘크리트에 팽창제, 유동화제 등을 첨가하고 철망을 넣어서 시행하고 있다.
 - 나. 균열의 발생량을 작게 하는 효과는 인정되었으나 확실성이 부족하므로 사용시에는 충분한 검토가 필요하다.
 - ③ 균열 유발 줄눈의 설치(균열 발생의 제어)
 - 가. 균열 발생의 위치나 방향을 미리 설치한 줄눈으로 제어하도록 하는 유발 줄눈은 경제적이고 균열을 적게 하는 효과는 있지만 품질의 개량과 마찬가지로 확실성에는 부족한 면이 있다.
 - 나. 유발 줄눈으로부터 누수가 문제가 될 염려가 있는 경우에는 줄눈부의 도수공 및 콘크리트 라이닝 배면에 지수 시트 등을 설치하는 것을 검토할 필요가 있다.
 - ④ 라이닝 타설 순서 고려
 - ⑤ 철근이나 철망 배치 및 섬유보강 콘크리트 사용
 - ⑥ 습윤양생 실시

6.4.2 콘크리트 라이닝 배면 주입

(1) 배면 주입의 필요성

① 지반과 밀착하지 않은 콘크리트 라이닝

가. 설계시에 산정한 조건과 다르므로 휨모멘트나 편토압이 작용하여 작은 하중으로도 균열의 발생이 가능

나. 주변의 원지반은 풍화나 열화가 되어 강도를 상실하여 장기간에 걸쳐 하중을 증가시킨다.

② 터널의 변형이나 붕괴 요인의 대부분

가. 건설시에 콘크리트 라이닝 배면과 원지반의 공간을 남겼기 때문에 장기간에 걸쳐 원지반이 느슨해져 큰 편압이 작용한다.

나. 이와 같은 경우에는 주동토압을 균등하게 분포시켜 수동토압이 유효하게 작용되도록 모르타르 충전에 의해 가능한 한 틈을 없애는 것이 좋다.

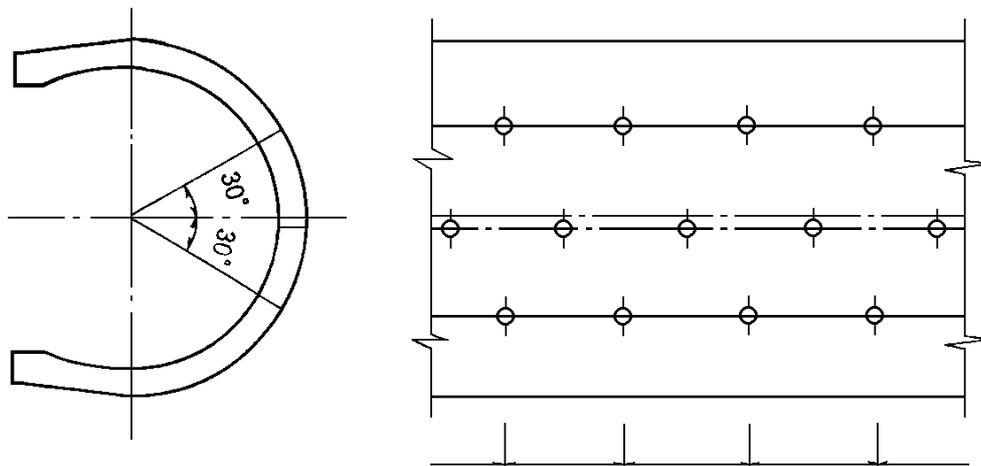
(2) 배면 주입 방법

① 배면 주입 설계 시 주입재의 재료, 배합, 주입구의 구조 및 배열 등을 계획하여야 한다.

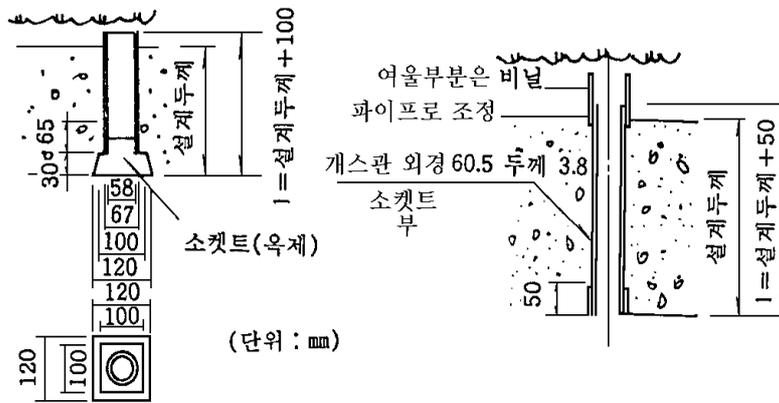
② 주입재로 사용되는 모르타르는 주입작업 시의 분리, 특히 고형물의 침전이 적고 주입 후의 체적 신축이 작아야 한다.

③ 라이닝 천장부 채움 시 주입관과 배기관을 설치하여 공극 채움이 원활히 되도록 하여야 한다.(그림 6.4.1~2참조)

④ 주입작업 시 배수체계의 훼손 및 구조물 2차 손상이 발생하지 않도록 주입압에 대하여 검토하여야 한다.



<그림 6.4.1> 주입관의 배치 예



<그림 6.4.2> 주입관의 구조 예

6.4.3 터널 Abut부 철근사용²⁾

- (1) 터널 Abut 부위에 작용하는 하중을 고려하여 구조 검토한 결과, 무근 및 철근 콘크리트 라이닝 구간 모두 별도의 철근 보강은 불필요하다.
- (2) 무근콘크리트 구조물에 온도철근 적용여부는 기 검토 완료한 결과에 의거 온도철근을 적용하지 않는다.
- (3) 건조수축균열을 예방하기 위하여 콘크리트 라이닝과 같은 간격으로 수축줄눈을 설치한다.
- (4) 장대터널의 경우 공동구 벽체 기계화시공을 위한 시공성을 확보하고 구조물의 자립성 확보를 위해 일부 철근을 반영한다.

6.5 콘크리트 라이닝 구조 설계

6.5.1 콘크리트 라이닝 설계 하중

- (1) 콘크리트 라이닝의 설계 개념
 - ① 적용토압은 토압에 대해서는 일반적으로 지반자체의 지보 능력을 고려한 작용토압을 적용하는 것이 합리적이다.
 - ② 작용토압의 유무는 지반조건에 따라 다르고, 지반이 양호할 경우는 발생하지 않을 수 있으므로 이에 대한 검토후 적용한다.
 - ③ 구조 계산에 있어서는 발생 가능한 다양한 설계하중과 하중조합을 적용하여 상황에 가장 근접한 결과를 얻을 수 있도록 하여 콘크리트 라이닝이 견디도록 설계하여야 한다.
- (2) 콘크리트 라이닝 설계시 적용하는 하중
 - ① 고정하중
 - ② 활하중
 - ③ 토압하중

2) 터널 Abut부 철근 사용 검토(설계이 13202-403, 2001.08.10)

- ④ 지반이완하중
 - ⑤ 수압
 - ⑥ 온도하중
 - ⑦ 지진하중
 - ⑧ 터널 내 설비하중
 - ⑨ 기타 콘크리트 라이닝에 영향을 미치는 하중 등
- (3) 수압에 대한 고려방법
- ① 비배수형 터널은 전체 지하수위를 고려한 정수압을 적용한다.
 - ② 터널이 불투수층 내에 위치하는 경우
 - 가. 이 층은 함수층에 의해 누층 되어진다.
 - 나. 이때 배수형식에 무관하게 터널 단면에는 수압이 작용하지 않는다.
 - 다. 전체 작용하중은 함수층의 중량을 고려해야 한다.
 - ③ 지하수에 의한 2차 효과
 - 가. 지하수는 직접적인 외부하중 외에도 2차 효과를 가지고 있다.
 - 나. 지반 또는 암반의 포화는 고유의 강도를 저하시켜 응력-이완(stress-released)을 발생시킨다.
 - 다. 따라서 터널에 작용하는 하중은 지반 또는 암반의 포화된 중량을 고려해야 할 경우가 있다.

6.5.2 구조설계

- (1) 콘크리트 라이닝의 구조설계는 구조해석과 단면설계의 순서로 이루어진다.
- (2) 작용하중으로 인하여 발생하는 응력과 변형을 구조해석으로부터 구하고, 부재단면의 안전을 검토하여 적합한 단면설계를 하여야 한다.
- (3) 콘크리트 라이닝의 해석은 2차원 해석을 원칙으로 한다.
- (4) 응력집중이 예상되는 접속부 등은 필요 시 3차원 해석을 실시하여야 한다.
- (5) 콘크리트 라이닝의 설계는 강도설계법, 허용응력설계법, 하중저항계수(LRFD : load and resistance factor design)설계법 등 가운데 적합한 방법을 선정하여 적용하여야 한다.

6.6 인버트 설치

6.6.1 인버트 형상

- (1) 원지반의 특성에 따라 터널 단면의 형상과 인버트 부분에 콘크리트라이닝 설치 여부를 결정하여야 한다.
- (2) 지형 조건상 편압으로 인하여 터널의 안정성에 문제가 발생할 것으로 예상될 경우 인버트 부분의 형상을 곡선형으로 적용하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 인버트는 측벽과 일체가 되어 외력에 안전하게 저항할 수 있는 형상이 되도록 하여야 한다.
- (4) 곡선형 인버트의 곡선 부분 깊이는 지형 및 지반 조건에 따라 정하여야 하며, 시공성 및 경제성 등도 검토하여야 한다.

6.6.2 인버트 보강

- (1) 팽창성 지반, 압축성 지반 및 함수미고결층 지반 등 인버트 부분에 콘크리트라이닝의 설치가 요구되는 지반에서는 인버트 콘크리트라이닝의 설치시기를 추가로 검토하여야 한다.
- (2) 특히 지반이 불량한 경우에는 숏크리트에 의한 인버트 부분의 보강도 고려하여야 한다.
- (3) 직선형 인버트를 적용하는 터널의 경우도 터널의 용도, 유지관리 등을 고려하여 인버트 부분에 콘크리트라이닝을 타설할 수 있다.