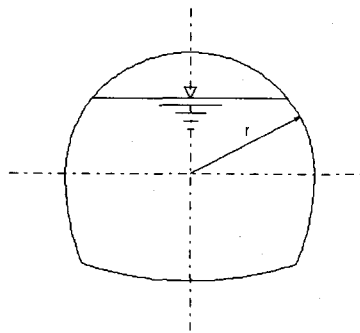


## 수로터널의 유지관리

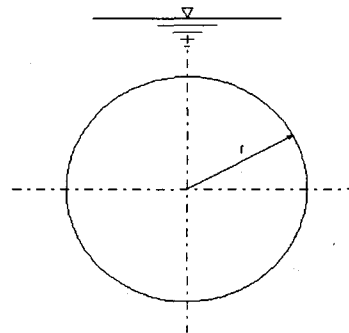
안상로 (한국시설안전기술공단)

### 1. 압력 수로터널의 일반형식

- 수로터널은 일반적으로 상수 및 용수를 도수할 목적으로 설치하는 터널로서 기능상 여러 가지로 분류할 수 있으나, 도로·철도·지하철 같은 교통터널과는 달리 터널내에 수압의 작용이 중요하므로 이를 기본으로 하여 자유수면(무압터널)과 압력터널로 분류

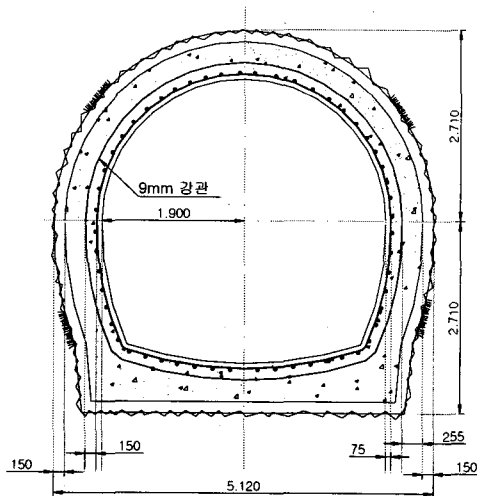


(a) 자유수면터널(무압터널)

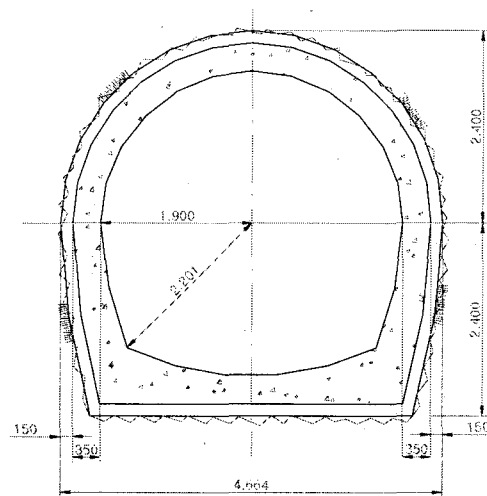


(b) 압력터널

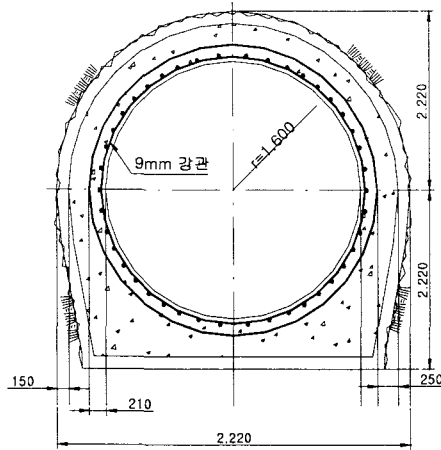
- 구조형식 : 지보터널(무근라이닝)
  - 입·출구부는 강관삽입, 철근보강
  - 연약층은 강지보재 설치
- 형상 : 표준마제형이 일반적이고, 조건이 불량한 곳에서 원형



(a) 연암구간

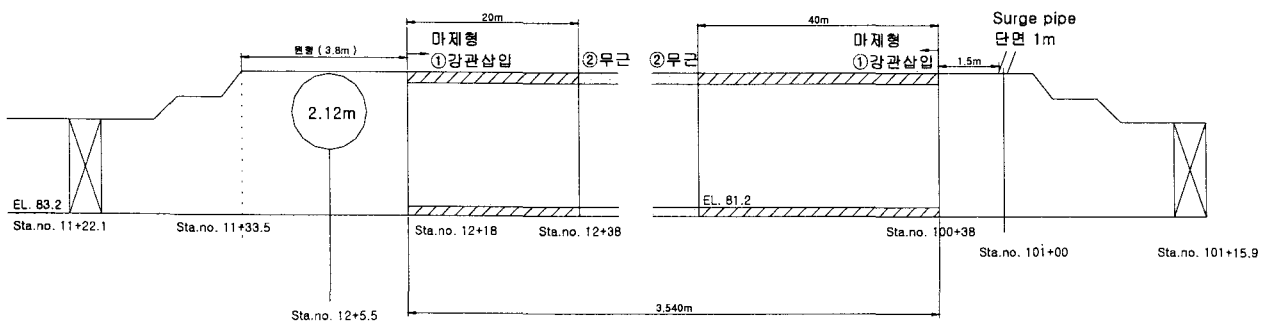


(b) 경암구간



(c) 연암구간 원형

1 T/L 단면형상



(d) 종방향 터널 단면형상

## 2. 압력 수로터널의 특징

○ 일반 터널의 경우 특별한 팽창성 지반이 아니라면 터널의 시공 과정에서 안정을 위해 요구되는 처리 그 자체로서 터널의 궁극적인 구조적 안정이 확보되는 것으로 볼 수 있음 ↔ 압력 수로터널은 시공중의 안정과는 별개로 터널의 운영(통수와 배수) 과정에서 형성되는 내수압과 외수압을 추가로 고려하여야 함

○ 암반의 응력과 수밀기능

수로터널에서 내수압에 대한 차수역할은 터널 주변의 암반이 담당하여야 함. 내수압이 터널 통과 지점의 암반 응력(특히 수평응력)보다 크면 내수압에 의하여 암반내의 절리 등을 확장시키는 현상(hydraulic fracturing)이 발생하게 되어 터널 주변 암반의 수리구조적인 안정과 불투수성을 확보할 수 없기

때문에 내수에 대해 차수기능을 할 수 있는 수밀(watertight)의 라이닝을 설치해야 하며, 암반피복이 대략 내수압의 40% 이하 되는 구간에 대해서는 수밀 라이닝이 필요하고 그 외의 구간에서는 일반적으로 비라이닝 터널로 하여도 수리구조적으로 문제가 없음. 작용 내수압이 크거나 암반의 변형계수가 작은 구간에서 수밀 라이닝을 설치해야 하는 경우에는 철근 콘크리트 라이닝 대신에 콘크리트로 뒷채움한 철편 라이닝을 선택해야 함.

#### ○ 외수압

철편라이닝을 설치한 경우가 아니라면 장기간에 걸친 터널 내의 통수(steady state)에 따라 내수압에 상당하는 범위까지의 암반 내에는 침투수에 의한 포화구간이 형성됨. 터널 점검 등의 이유로 터널을 비우게 될 경우에는 암반내의 포화수는 잔류수압으로서 라이닝에 외수압으로 작용함.

지하수위의 저하 등이 문제가 되지 않는 지역이라면 콘크리트 라이닝에 배수공(drain)을 천공하여 터널 공허 시에 외수압이 소거되도록 하는 것이 가장 간단하고 경제적인 외수압에 대한 해결 방안.

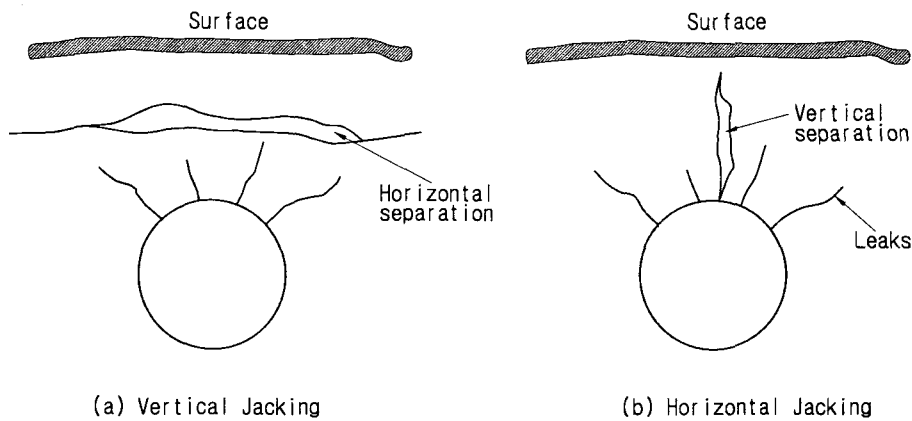
터널을 비우게 될 경우, 또는 수격압에 의한 압력 강하 등의 경우에는 지하수위 또는 침투수에 의한 잔류 수압 등의 외수압을 전적으로 콘크리트 라이닝이 부담하게 되므로 외수압의 크기는 무근 콘크리트 라이닝의 구조적 안정과 직접 관련이 있음. 따라서 외수압에 대한 고려가 불충분하게 설계된 터널의 경우 통수중에는 문제가 없으나 취수구측 게이트를 닫아 터널을 비우게 될 경우, 또는 하류측의 조절 밸브 등의 조작이나 가압 펌프의 순간 정지 또는 가동에 따른 서어징(surgings)현상 등으로 내수압이 급격하게 떨어지게 되면, 외수압에 의한 콘크리트 라이닝의 파괴 및 탈락을 야기시킬 수 있음. 배수공의 설치로 지하수위가 저하될 경우 문제가 되는 지역이나 오염된 외수의 터널 내 유입을 방지해야 할 필요가 있는 구간에서는 배수고을 설치하는 대신에 라이닝이 전체 외수압에 저항할 수 있도록 라이닝의 두께를 증가시켜야 함. 원형 단면의 터널이라도 터널 내경이 큰 경우에는 외수압에 대한 라이닝 콘크리트의 아칭(arching) 효과가 떨어지기 때문에 통수중에 발생했던 중형의 균열에 의해 콘크리트 라이닝의 국부적인 탈락 가능성이 있음. 이와 같은 탈락을 방지하기 위해서는 라이닝의 내측에 최소 철근을 배치하여 콘크리트 라이닝을 체결시켜 주는 것이 좋음.

### 3. 압력 수로터널의 파괴 사례

○ 압력 수로터널의 파괴사례 연구(Brekke and Ripley, 1986)

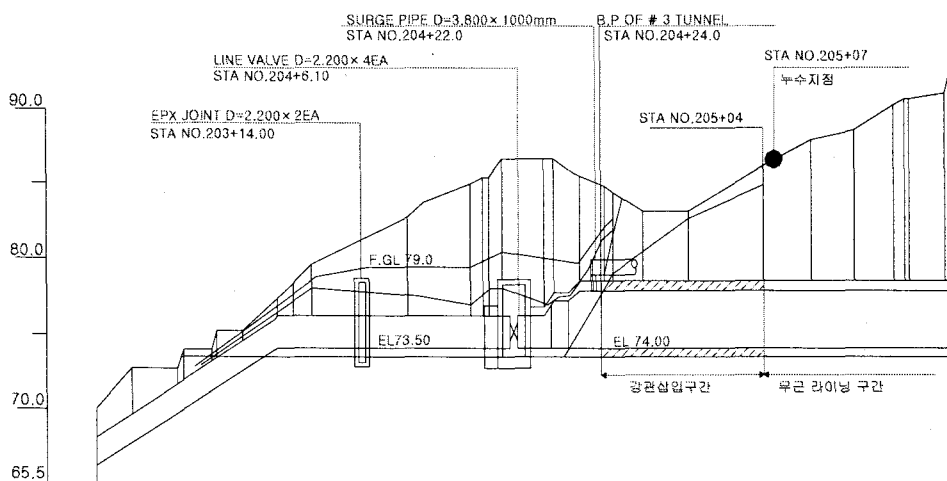
- 누수로 인한 원인 : 59.25%
- 암반 열화 : 22.33%
- 강관 라이닝 좌굴 : 12.86%
- 내수압에 의한 라이닝의 파괴 : 5.56%

○ 고수압의 누수는 지층의 수압할렬 발생, 유체와 압력의 손실, 지하수위의 상승, 사면의 불안정성 야기로 이어짐



〈수압할렬 현상 모식도〉

※ 수로터널 입구부 원형강관과 강관삽입 콘크리트 라이닝 간의 접합부, 강관삽입과 무근 콘크리트 라이닝 간의 연결부, 시공이음부에서 균열로 누수 발생 및 지표로 노출



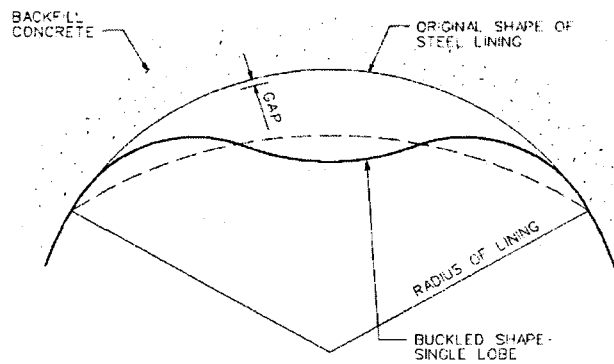


〈터널 입구부 누수현황〉

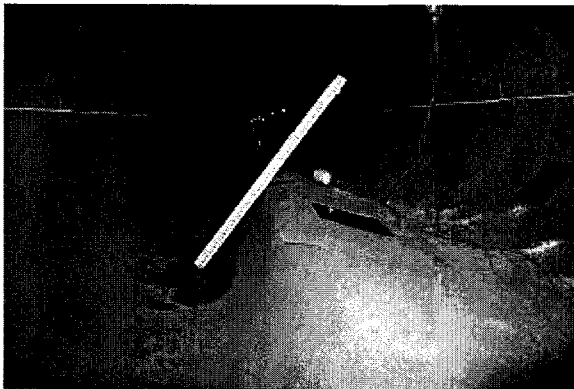


〈터널의 접합부 방수재 삽입〉

- 암반의 열화는 용해성이 있는 암반층이나 침식성이 있는 단층 gouge 등의 지반조건에서 발생
- 강관 라이닝은 터널내 배수시 외부 압력에 의한 좌굴을 방지할 수 있는 두께가 필요함. 또한, 강관 외부에는 적절하게 뒷채움되어야 함.

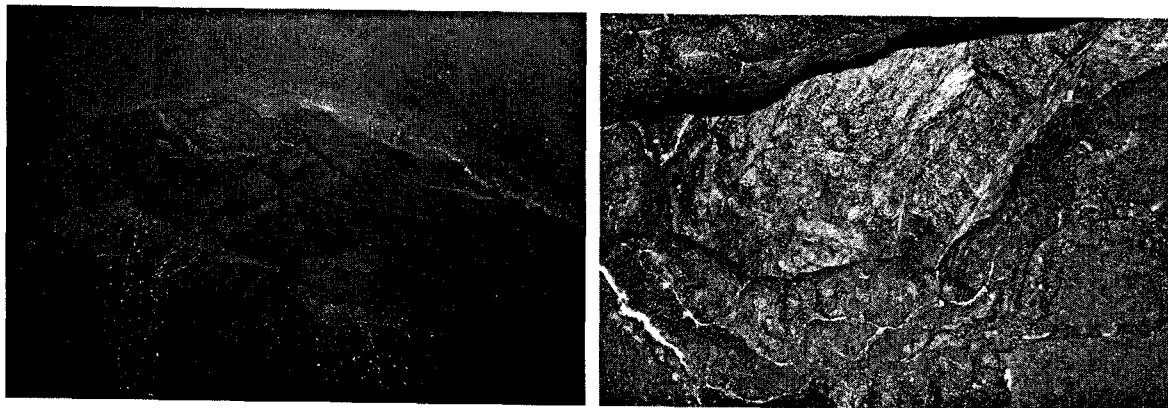


〈Single Lobe Buckling 원리〉

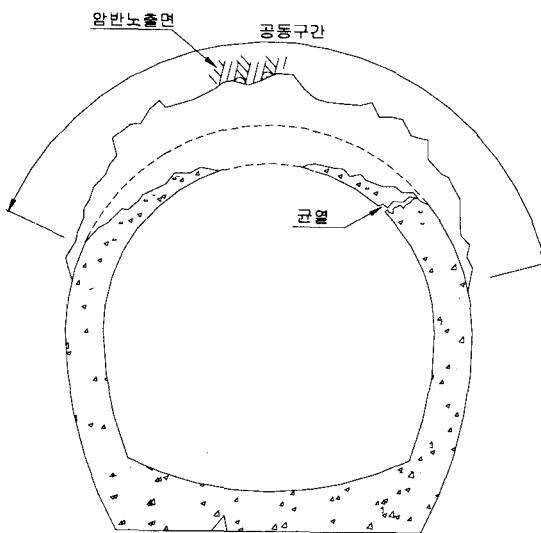


〈강관 라이닝 Buckling 발생〉

- 내수압에 의하여 라이닝의 배면이 공동구간인 경우, 라이닝의 두께가 얇은 경우 등에 라이닝의 파괴 발생



<라이닝 파손 발생>



<라이닝 탈락 모식도>

#### 4. 수로터널의 유지관리

이상에서 살펴본 바와 같이 수로터널은 터널의 운영(통수와 배수) 과정에서 형성되는 내수압과 외수압에 대한 고려가 중요하므로 이를 바탕으로 한 유지관리 방법은 다음과 같음.

- 수압의 변화량이 적도록 통수운영

정상적인 터널 내의 통수(steady state)시에 급격한 내압의 변화가 발생되지 않도록 운영 필요

- 터널내 퇴적물 주기적인 제거

터널내 퇴적물은 흐름의 속도 등을 변화시켜 터널 내부의 손상을 가져옴

- 강관의 경우 내벽 부식방지

부식에 의한 좌굴의 가능성을 줄임

- 입·출구부 등 누수현황 파악 점검

입·출구부, 터널 노선내 토피고가 낮은 위치에 대해서는 누수현황이 주기적으로 점검하여야 함.

- 입·출구부 지질 및 지형특성 파악

터널 노선내에는 용해성이 있는 지질조건의 유무 등을 미리 파악하고 있어야 하며, 이에 따른 누수발생 여부 등을 주기적으로 점검하여야 함.