

천매암 지역 터널 붕괴요인과 보강대책

I. 개요

1. 천매암은 점토질 기원의 암석이 비교적 낮은 온도와 압력의 영향으로 형성된 세립질 광역 변성 퇴적암으로 일반적으로 광택이 있는 벽개면을 가진다.
2. 이렇게 연장성이 좋으며 전단강도가 현저히 낮은 천매암의 벽개면 또는 엽리면을 지반 구조물 연약대로 작용하여 많은 지질 재해의 원인이 되고 있다.
3. 이질암의 광역 변성암은 변성 정도에 따라 이암(mudstone)-셰일(shale)-점판암(slat)-천매암(phyllite)-편암(schist)-편마암(gneiss)으로 구분된다
4. 특히 천매암은 slate(점판암)과 편암의 중간단계 변성암을 여타의 변성 퇴적암들과 비교를 통하여 정확한 정의를 내릴수 있다.

II. 천매암 터널 붕괴 요인

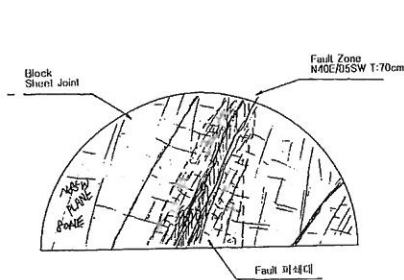
1. 암석 굴착후 노출면 풍화작용으로 이완
 - 1) 천매암, 점판암, 셰일 등은 암석 굴착후 노출면 풍화 작용에 의해 이완현상 나타낸다
 - 2) 습한 갱내공기가 이러한 풍화작용에 원인으로 생각된다
 - 3) 특히 여름철 온도상승과 겨울철 온도하강에 따른 환기에 의해 노출면 이완 현상을 촉진한다
2. 수분의 영향
 - 1) 지반중의 지하수 영향은 크지만 공기중에서의 흡수 영향은 적다
3. 박리 팽창작용
 - 1) 천매암, 흑색(이질)편암이나 녹색편암 등이 풍화 및 파쇄작용 받으면 터널 굴착시 응력 해방에 의해 편리면의 박리 및 팽창이 발생한다.
 - 2) 이외에는 팽창성 나타내는 지반에는 응회암, 사문암, 변질안산암, 습곡대, 단층 파쇄대, 단층점토화대, 변질대 등이 있다.
4. 팽창성 현상
 - 1) 지반터널은 굴착단면내의 공간으로 지반이 현저하게 밀려 나오는 현상을 말한다
 - 2)지반자체의 성질과 터널 설계 및 시공법에 의한 영향 일수도 있다.

III. 터널막장 붕괴현상과 막장관찰시 주의점

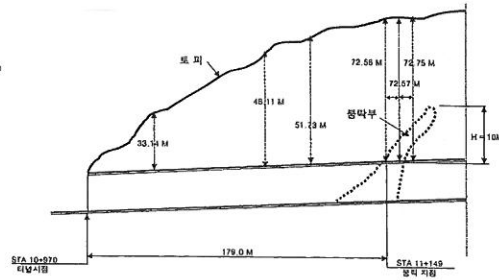
[표 3-27] 터널 막장붕괴 현상과 막장관찰 시 주의점

지반상태	대표적 막장붕괴 형태	기반암 특성	균열정도·방향	용수
①균질		매우 중요	그다지 중요하지 않음	그다지 중요하지 않음
②층리		약간 중요	매우 중요	매우 중요
③절리		그다지 중요하지 않음	매우 중요	약간 중요
④파쇄대, 심한풍화		매우 중요	그다지 중요하지 않음	매우 중요

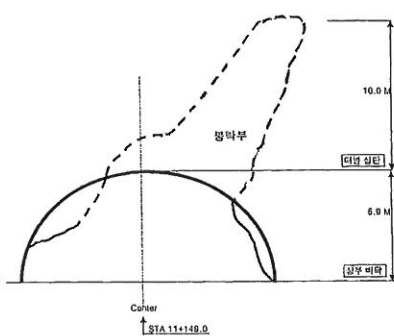
- ① 균질: 거의 균질한 지반으로 이암 등의 팽창성 지반에 해당
- ② 층리: 이종물질의 지층이 호층을 이루는 지반으로 사암, 이암 등이 해당한다.
- ③ 절리: 경암에 많고 조적이 절리, 균열에 의하여 분단된 지반이다.
- ④ 파쇄대, 심한풍화: 단층, 파쇄대 등에 의해 국부적으로 약화된 지반으로 풍화화강암 등이 여기에 해당한다.



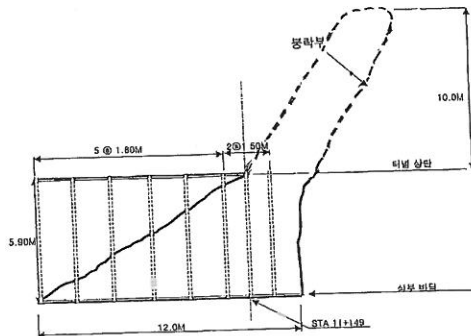
[그림 3-73] 하행선 막장지질도



[그림 3-74] 막장 붕락 단면도(중단면)



[그림 3-75] 막장 붕락 정면도

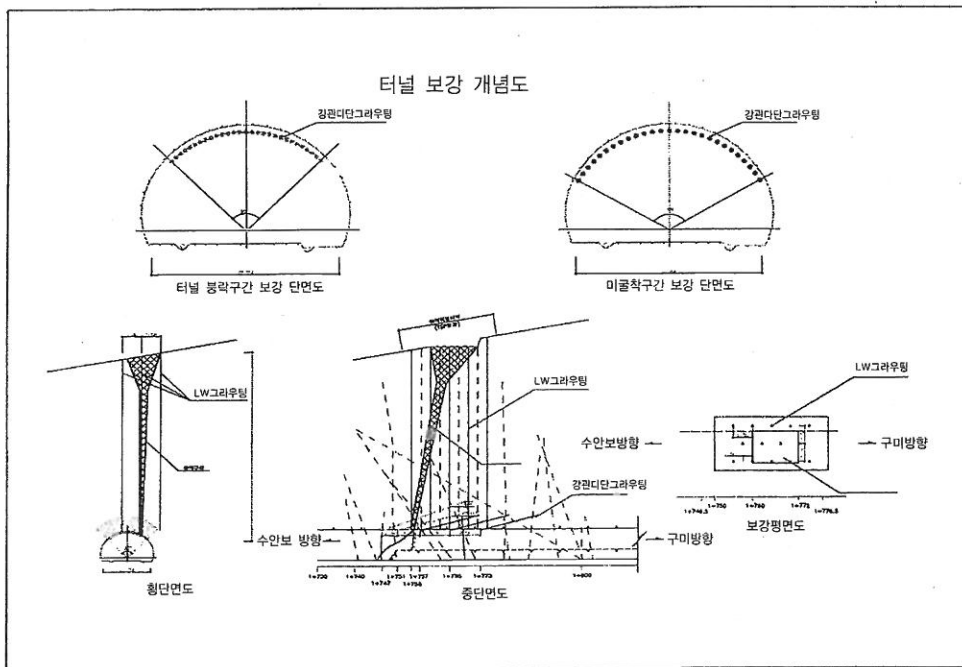


[그림 3-76] 막장 붕락 측면도

IV. 보강대책

1. LW Grout+ 강관다단 Grouting

이미 붕괴되어 이완된 파쇄대 구간에 대한 전단강도를 증진시키고, 터널막장 crown부의 지반이완을 억제하고 막장전면에 작용하는 압력을 지지하며 주입에 따른 암편들의 봉합을 기대할 수 있는 차수 및 지반 보강공법을 선정하고자 하였다. 이에 따라 지상에서 LW그라우팅을 실시하여 함몰, 이완된 지반을 고결시키고 터널 내 천단부에서 강관다단그라우팅을 실시하여 붕괴된 지반의 강도증진 및 차수효과를 얻을 수 있었다



[그림 3-17] 00터널 보강 개념도

1. 보강사례

1) 지상부 보강

(1) A구간

보강 범위는 그림 3-84와 같이 함몰부위로부터 균열이 발생한 위치를 포함시켰다. 터널 종방향으로 27m, 터널 횡방향으로 16m크기의 타원형 형태였다. 모르타르 그라우팅공법을 적용하였다

(2) B구간

그림 3-85에서와 같이 횡단면의 경우 각각 3.5m, 7m, 10.5m, 14m, 17m로 변화시켜 해석한 결과를 근거로 결정하였고, 중단면의 경우 막장 일지를 참고로 절리의 방향과 풍화토존재 유무 등 막장 지질상태에 따라 결정하였다. 시멘트밀크 주입공법을 적용하였다.

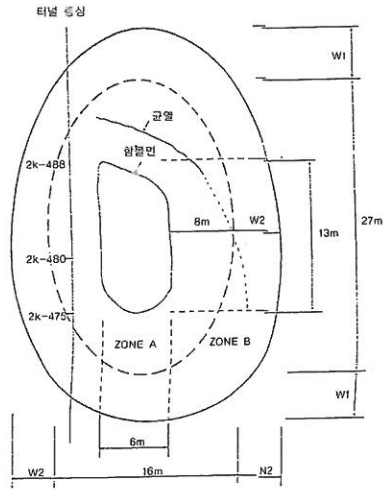
2) 갱내보강

(1) S,G,R공법

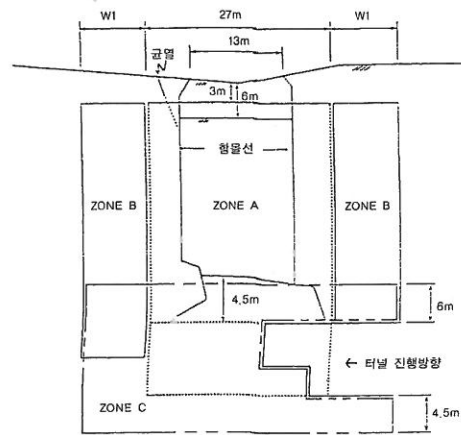
미굴착 구간의 보강은 수평선진 pre-grouting 형식으로 시공하였으며 터널굴착이 완료된 구간은 경사천공 주입을 하였다.

(2) 강관보강형 다단그라우팅

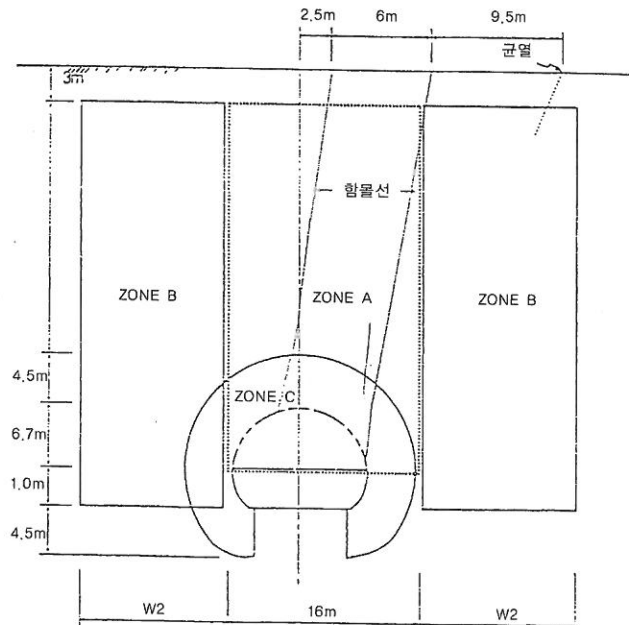
터널주변 공간격을 0.5m, 강관규격은 Φ 50mm의 백관을 사용하여 1 span의 길이는 12m로 시공하였다.



[그림 3-84] 함몰부 보강도



[그림 3-85] 종단면 보강도



[그림 3-86] 횡단면 보강도