

공용중 터널내 배수체계 개선방안 Improvement of Existing Tunnel Drainage System



임근용¹⁾

Im, Geun Yong



민경무²⁾

Min, Gyeong Mu



오종구³⁾

Oh, Jong Gu



윤충섭^{4)*}

Yun, Chung Sub

1. 개요

1968년 국내에 고속도로가 개통된 이후 44년 동안 한국도로공사에서 관리하는 터널은 709개소, 539,046m로 친환경 고속도로 건설추세에 맞추어 관리할 터널은 지속적으로 증가가 예상된다.

이런 공용중 터널들은 설계기준에 맞게 시공하여도 지형조건, 기타 제반여건 등이 상이하여 집중호우시 터널내 용출수 과다로 포장균열, 들뜸 및 솟음현상이 발생하여 공용중인 차량의 안전에 위험요인으로 작용하고 있어 공용중인 터널내 배수시설의 효율적인 유지관리를 위해 다각적인 배수처리방안을 수립 하고자 한다.

2. 터널 배수체계

터널배수체계는 터널 배면침투수와 터널하부 침투수 처리인 지하수 처리 및 세정수 처리로 구분 된다. 터널배면 침투수는 필터콘크리트로 보호된 고밀도 파형 폴리에틸렌 유공관(∅100mm)과 배수구인 스파이럴섬닥트(∅300mm), 황방향 P.V.C 파이프(C.T.C 10m, ∅100mm)로 구성된다.

터널하부 침투수는 집수관 및 유공관(∅300mm)을 이용하여 지하수를 처리토록 설계되어지고 있다.

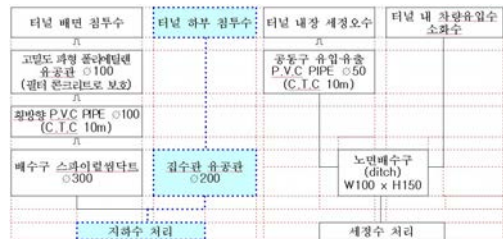


Fig. 1 터널배수 흐름도

1) 한국도로공사 전남본부 기술처장
2) 한국도로공사 전남본부 구조물팀장
3) 한국도로공사 전남본부 구조물차장
4) 한국도로공사 전남본부 구조물과장

* E-mail : ycs8922@ex.co.kr

3. 터널 시공관련 기준

3.1 배수시설 규격(도공, 도로설계요령)

중배수관 설계시 고려요소로는 터널세정수(0.25 m³/min), 소화용수(0.15m³/min) 및 터널측벽 유입수(0.5~1.5m³/min/km)가 있으며 연장 2km 이하인 터널은 직경 300mm인 스파이럴썬덕트관, 연장 2km 이상인 터널은 별도 용량계산에 의해 배수관 단면을 결정토록 규정하고 있다.

2.2 편경사 변화구간 배수 개선(도공, 2011년)

터널내 종단경사가 완만한 구간¹⁾ 중 편경사 변화구간²⁾에서 터널내 물고임 발생이 예상되며 터널내 편경사 변화구간 배수처리 방안은 “터널내 배수조건 검토 흐름도”에 따라 검토하여 평면 선형 및 종단경사를 조정토록 규정하고 있다.

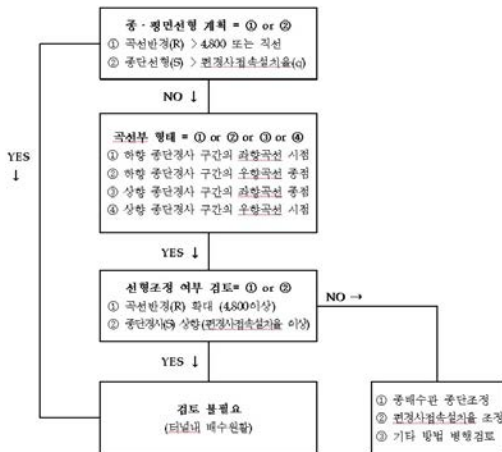


Fig. 2 터널내 배수조건 검토 흐름도

- 1) 편경사 점속설치율(1/175 ≒ 0.57%)이하의 종단경사 구간
- 2) 하향종단의 좌향곡선 시점 또는 우향곡선 종점, 상향종단의 좌향곡선 종점 또는 우향곡선 시점

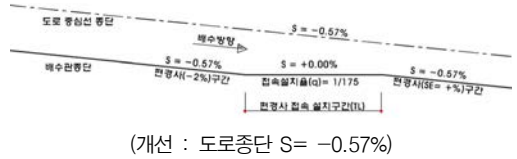
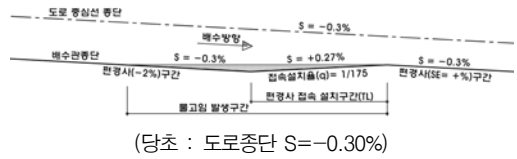


Fig. 3 편경사 변화구간 배수개선(예)

2.3 맹암거 및 중배수관 통합시공(도공, 2011년)

터널배수는 지하수 처리용인 맹암거와 측벽유입수 처리용인 스파이럴썬덕트관으로 구분되어 있어 복잡한 배수체계로 인한 기계화 시공이 어렵고 시공성이 불량하며 터널공기의 적지않은 부분을 차지하고 있어 터널내 복잡한 배수체계를 단순화하여 시공 및 유지관리 효율성을 향상하고자 맹암거 및 중배수관을 통합하여 시공토록 설계개선 되었다.

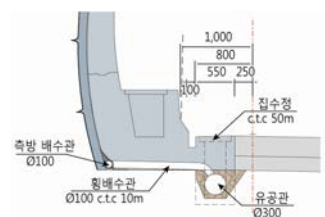
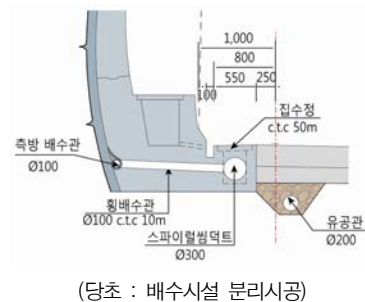
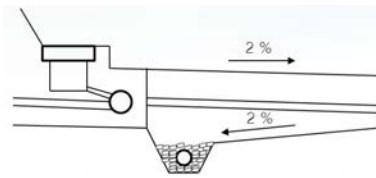


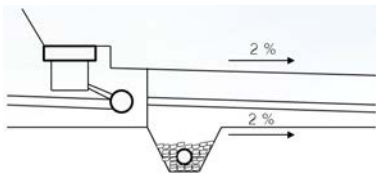
Fig. 4 맹암거 및 중배수관 통합시공

2.4 포장면 하부 굴착경사 변경(도공, 2002년)

2002년 이전에는 포장면 횡단경사와 역경사로 굴착(도공, 249개 터널 172km) 하였으나 2003년 이후에는 포장면 횡단경사와 동일경사 굴착(460개터널, 367km)으로 변경하였으며 이에 따른 개선효과로는 터널 굴착량 감소($\Delta 0.34\text{m}^3/\text{m}$) 및 공사비 절감($\Delta 16$ 백만원/km)이 가능하다.



(당초 : 포장면과 역경사)



(개선 : 포장면과 동일경사)

Fig. 5 포장면 하부 굴착경사 변경

4. 공용중 터널의 배수불량 사례

4.1 집중호우시 터널내 유입수에 의한 포장파손

집중호우시 터널 종단경사 저점부에서 지하수 과다유입에 따른 수압 상승으로 포장면 솟음(10cm) 및 파손이 발생한 사례입니다.

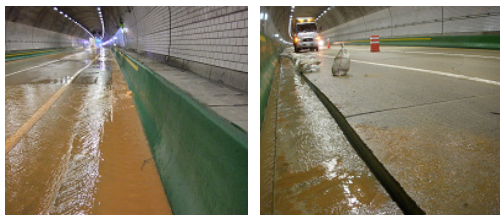


Fig. 6 유입수에 의한 포장 파손

4.2 편경사 변화구간 배수불량에 따른 용수 발생

최저 종단경사(0.3%) 및 편경사 변화(+3→-2→-4%)구간 배수체류에 의해 포장면에서 용수가 발생 사례입니다.



Fig. 7 편경사 변화구간 용수 발생

4.3 석회화로 인한 배수관 막힘

석회암 성분 중 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 이 공기중에 있는 이산화탄소(CO_2)에 용해되어 석회석(CaCO_3)으로 굳어지며 배수관 내부에 적치되는 현상으로 석회암 지대를 관통하는 터널에서 발생한다.

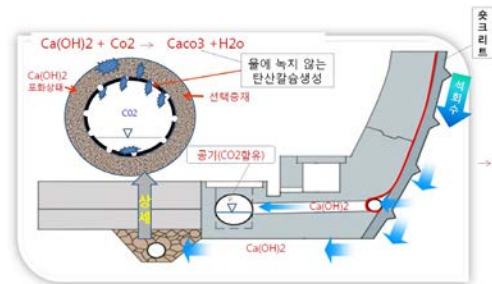


Fig. 8 석회화 발생

4.4 부직포 폐색현상

(한국지반공학회 논문집, 1999)

부직포 폐색현상(Clogging)이란 터널의 암반 절리 및 간극 사이로 이동하는 미세한 입자가 부직포의 간극을 메워 투수계수를 감소시킴과 동시에 이러한 토립자의 침전이나 유기물질, 염분, 미생물들이 간극속에서 성장하는 등 여러 가지 요인에 의하여 부직포의 폐색효과(Clogging)를 일으키는 현상으로 배수성능 평가표를 참고하면 흐름효율이 25%까지 감소하는 것으로 조사되었다.

<터널필터재의 폐색현상과 배수성능 평가>

하중 (kg/cm ²)	동수 경사	초기 유량 (ml/min)	정상상태 유량 (ml/min)	흐름 효율 (%)	간극메움 증량비 (%)
0.075	5	16.5	12.1	73.33	27.2
0.150		12.5	7.9	63.50	31.2
0.300		9.9	4.4	44.00	30.8
0.600		8.2	2.05	25.00	28.5

5. 터널내 배수체계 개선방안

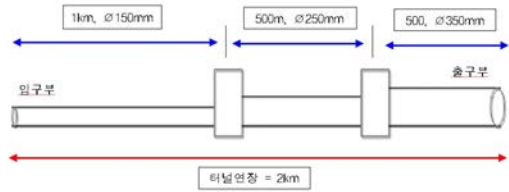
5.1 터널 설계 및 시공시

5.1.1 터널내 배수시설 규격산정의 다각화

터널 주변의 지하수 유동 및 간극수압 분포를 모델링할 수 있는 SEEP/W와 FLAC 등과 같은 침투류해석 프로그램을 활용한 용수량 예측(사례1) 및 공사중 발생하는 용출수의 양을 일정간격(6~8월)으로 측정하여 배수시설 규격 재산정이 필요하며 장대터널의 경우 집중강우시 터널 배수경사 출구부에 용출수량이 집중되어 맹암거 통수능력 초과시 포장 솟음등이 발생하고 있어 이를 해소하기 위해 출구부측 맹암거 규격 상향 조정(예시 1)이 필요할 것으로 판단되어진다.

구 분	마구터널 (L=530m)	회복터널 (2,013m)	간천터널 (903m)
중배수관 (기준 : Ø300mm 이상)	Ø300mm	Ø300mm	Ø400mm
유공관 (기준 : Ø150~200mm)	Ø250mm	Ø250mm	Ø350mm

사례 1 용수량 예측에 의한 배수관 조정



예시 1 맹암거 설치

5.1.2 터널 배수시설 결빙 방지

수정동결지수가 700°C · 일 이상이고 터널 방향이 N50°E~N45°W인 터널로서 입구부로부터 200m 구간 배수시설 결빙이 집중적으로 발생하고 있으며 터널 외기 유입에 의한 배수관 동결 방지를 위해 터널 측벽 및 배수관 주위 단열재 삽입 및 부착 등 보강공사후 배수시설 설치가 필요하다.

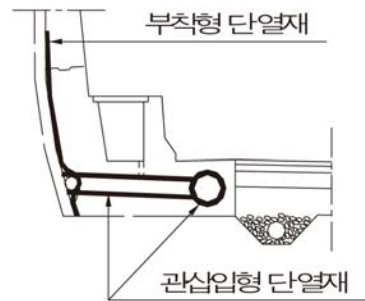


Fig. 9 배수시설 결빙방지 시공상태

5.1.3 포장하부 필터층 생산 및 시공

포장하부 골재포설시 용출수 배수를 위해 필터층으로 시공하여야 하나 주로 보조기층 재료로 시공하고 있으며 보조기층 0.08mm체 통과

율이 최대 10%로서 미립자가 맹암거 내부 적치됨에 따른 배수불량 원인이 되고 있어 골재 생산시 터널 포장용 필터층 별도 생산 및 관리와 여굴에 따른 노상요철 보정시 철저한 필터층 시공이 필요하다.

☞ 암반구간 설계지침(국토교통부)

다짐공사체의 투수계수가 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 에 해당하는 필터층의 0.08mm체 통과량을 4% 이하

☞ 암반구간 포장설계 잠정지침(도공, 2007년)

암반구간 굴착시 여굴에 따른 노상의 요철은 빈배합콘크리트, 시멘트 안정처리 필터층 또는 필터층 등으로 보정

☞ 필터층 및 보조기층 입도 비교

필터층 체통과중량백분율(%)	호칭치수 (mm)	보조기층
		체통과중량백분율(%)
100	50	100
80-100	40	80-100
55-90	20	55-100
30-65	5	30-70
20-50	2	20-55
5-25	0.4	5-30
0-4	0.08	0-10

5.2 공용중 터널 용수 발생시

5.2.1 배수홀 천공 및 유도배수로 설치

포장면 용수 발생시 10m 간격의 선택층과 연결되는 수직 배수구 천공(45cm) 및 포장 끝단부 배수로 설치를 통한 용수처리 방법으로 집중강우시 포장면 하부 지하수의 영향으로 단구간에 용수압력에 의한 포장층 솟음이 발생할 우려가 있는 구간에 긴급 배수를 위한 공사 시행 방법이다.

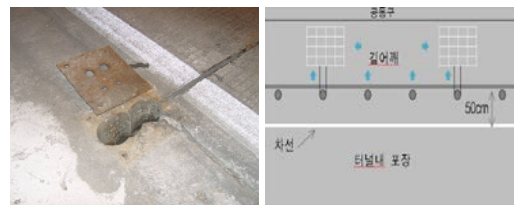
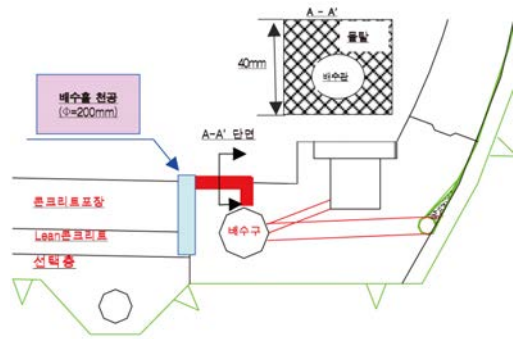


Fig. 10 배수홀 천공 및 유도배수로 설치

5.2.2 집중정 연결 배수관 설치

집수정과 연결되는 배수구(0.5×0.3M) 설치로 포장층내 용출수를 직접 처리하는 방법으로 집중강우시 용수압력에 의한 포장층 솟음이 발생할 우려에 따른 긴급시행시 효과적이며 용출수와 함께 선택층내의 이물질 유출에 따른 포장층 하부 공동화 예방을 위해 배수구 규격에 맞는 필터(골재유실방지망) 시공시 더욱 효과적인 시공 방법이다.

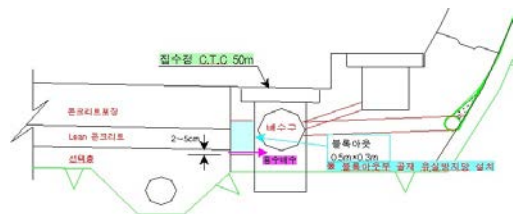


Fig. 11 집중정 연결 배수관 설치 시공상세

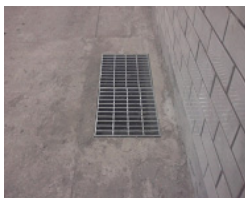


Fig. 11-1 집수정 연결 배수관 시공 사진

5.2.3 집수정 측벽 블록아웃 및 필터층 설치
 집수정 전면부 프리캐스트 콘크리트 제작 및 필터층 설치를 통한 용출수 처리로 선택층 내의 미립분 유출 방지 및 배수구 위치가 린콘크리트 하단부에 위치하고 있어 포장층 하부 용출수 배수처리에 효과적이며 용출수 배출 도달거리 단축을 위해 집수정 간격을 16.7m로 추가설치 함으로서 배수효과를 극대화 할 수 있는 시공방법이다.



① 측벽 및 필터 제작



② 집수정 신설

Fig. 11 집수정 연결 배수관 설치 시공상세

5.2.4 맹암거 유지관리를 설치

포장층 하부 배수처리를 담당하고 있는 맹암거 고유기능 회복을 위해 터널 맹암거 유지관리홀(Maintenance Hole) 설치 후 유공관 내부를 고압 살수에 의한 세척(준설)작업을 실시하여 맹암거 배수기능을 원래대로 회복하는 방법으로 Hole 간격은 청소차량 성능 및 경제성을 고려하여 용수발생 구간에 150m간격으로 길어깨 부위에 시공한 사례로 맹암거 고유기능 회복에 중점을 둔 시공방법이다.

o Maintenance Hole 시공 순서도

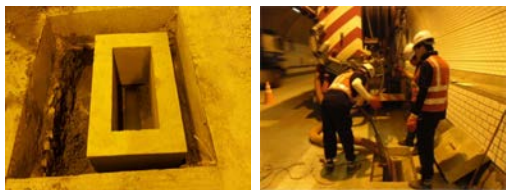


o 시공전경



① 포장깨기

② 유공관 상부제거



③ Hole 구체 거치

④ 맹암거 준설



준설장비 추진체

⑤ 완료

○ 맹암거 유지관리홀 시공 전·후 비교



시공 전

시공 후

6. 결론

본 기고에서는 우기철 일시적으로 발생하는 포장면 용출수 발생과 관련하여 터널내 포장면 하부 침투수 처리를 위한 배수체계 및 터널시공 관련 기준, 터널 공용시 배수불량 사례, 배수체

계 개선방안을 설계·시공시와 용수발생시로 구분하여 기술 하였다.

터널내 용수에 의한 포장 파손시 복구비용이 과다하게 소요되며, 또한 고속도로를 이용 고객의 안전운행에 위험요소로 작용될 우려가 있어 철저한 유지관리가 요구되어 진다. 터널 유지관리시 포장면 용출수와 관련하여 현재까지 시공한 개선사례로 유사한 상황 발생시 보강방안 수립에 참고 자료로 활용될수 있을 것으로 기대 된다.

담당 편집위원: 김태진
 (주)창민우구조컨선타트 사장
 taejin@minwoo21.com