

제 10 장 배수 및 방수공의 설계

10.1 설계일반

10.1.1 방수형식

- (1) 방수형식은 지하수의 처리방법에 따라 배수형 방수형식과 비배수형 방수형식으로 구분할 수 있다.

10.1.2 배수형 터널

- (1) 완전 배수형 : 터널부의 전 주면으로 배수를 허용하는 형식.
- (2) 부분 배수형 : 터널 천장과 측벽에만 방수막을 설치하여 유입수를 한곳으로 유도하여 배수하는 형식.
- (3) 외부 배수형 : 터널 내부 시설물이나 콘크리트라이닝을 보호하기 위하여 콘크리트라이닝 외부 전체를 방수막으로 둘러싸고 터널 외부에 별도의 배수로를 설치하여 터널로 흘러들어오는 지하수를 차집하여 외부로 배수하는 형식.

10.1.3 비배수형 터널

- (1) 비배수형 방수형식 터널은 배수 시스템을 설치하지 않고, 지하수가 터널 내부로 유입될 수 없도록 차단하는 방수형식을 말한다.
- (2) 라이닝에 지하수위 조건에 따른 수압을 고려하여야 한다.

10.2 배수공

10.2.1 배수공 일반

- (1) 터널에 작용하는 수압을 해소하기 위해 숏크리트를 통과한 유입수를 원활히 유도하여 배수 처리하여야 한다.
- (2) 터널 배수공의 계획은 터널의 입지 조건, 용수량, 종단 경사, 인버트의 유무를 충분히 고려하여 배수공의 구조, 단면 규격 및 위치 등을 결정하여야 한다.
- (3) 터널 배수공의 필요 기능,
 - ① 터널의 내부 콘크리트 라이닝에 작용하는 수압의 완전한 해소
 - ② 터널 내부로의 지하수 유입 최대한 억제
 - ③ 터널 주변 지반의 용수는 집수관으로 유도 처리
- (4) 배수요령
 - ① 터널 하부에 집수관을 설치하고, 터널 측벽 하단에 유공관을 설치한다.
 - ② 터널 주변의 암반 절리면을 따라 흐르는 지하수를 터널 하부 집수관을 통해 집수정으로 연

결 처리한다.

- ③ 근본적으로 지하수가 터널에 작용하지 않도록 하여야 한다.
- ④ 중배수관 관경 설계시 배수량(예 2~3m³/km/min)을 산정한 후 배수에 필요한 최소 관경을 유지하여야 한다.

10.2.2 배수공 세부사항

(1) 세립분이 함유된 지반

- ① 부직포의 막힘 현상 발생 가능성을 검토한다.
- ② 필요에 따라 부직포의 두께를 증가시키거나 드레인 보드를 사용한다.

(2) 터널 내 유입수의 처리

- ① 터널 사용 목적에 따라 적절히 처리되도록 하여야 한다.
- ② 중앙집수관 또는 측방배수관을 통하여 배수되는 것이 일반적이다.

(3) 배수재

- ① 적절한 필터 조건 및 내구성을 고려하여 배수재를 선정하여야 한다.
- ② 경우에 따라 방수막과 일체형으로 시공할 수 있다.

(4) 배수재를 통하여 흡수된 지하수를 배수하는 측방배수관

- ① 직경 100mm 이상의 유공관을 사용하여야 한다.
- ② 측방배수관 설치로 라이닝의 구조적 안정성을 손상시키지 말아야 한다.

(5) 인버트의 중앙부 또는 측방에 설치하는 주배수관

- ① 콘크리트관, 아연도강관, THP관 등을 사용할 수 있다.
- ② 주배수관의 직경은 200mm 이상이 되어야 한다.

(6) 콘크리트라이닝에 누수가 발생할 경우에 대비하여 적절한 배수처리시설을 갖추도록 하여야 한다.

(7) 시공 중에도 유입되는 지하수를 배수할 수 있는 적절한 배수시설을 갖추도록 하여야 한다.

(8) 통수능력 저하를 고려하여 적정 거리로 배수 확인공 또는 맨홀을 설치하여 청소가 용이하도록 하여야 한다.

(9) 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 배수 시스템 동결 방지대책을 강구하여야 한다.

(10) 터널 중배수관 재질¹⁾

- ① 터널내 배수관은 터널내 대형화재 사고발생시 유출된 기름에 의한 2차 발화에 의하여 유독 가스가 발생되어 인명피해가 우려되므로 불연성 재질로 설계한다.
- ② 배수관 재질은 스파이럴 씬 닥트관으로 한다.
- ③ 설치되는 배수관은 연장 2,000m 이하인 터널은 배수관 규격을 Ø300로 적용한다.

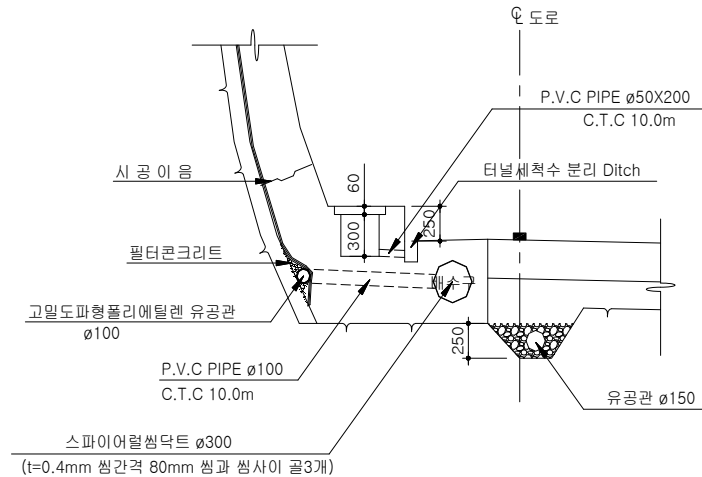
(11) 맨암거 적용기준²⁾

- ① 터널 맨암거의 유공관은 공용 및 시공시 외압강도에 안정성을 확보할 수 있고 재질,개공을 등의 품질기준에 만족하는 자재는 모두 사용 가능하다.
- ② 연장 1km이내의 2~3차로 터널 : Ø150mm 유공관 맨암거 적용

1) 터널 중배수관 재질 개선 검토(설심이 13201-400, 1999.04.28)

2) 터널 맨암거규격 적용기준 검토(설계처-3076, 2007.10.31)

- ③ 기타 조건 터널의 경우 $\varnothing 200\text{mm}$ 유공관 망암거 적용을 표준으로 한다.
 ④ 유공관은 시공시 실제 용배수량에 따라 조정 할 수 있다.



<그림 10.2.1> 터널 배수관 표준도

(12) 측방배수관은 시공성 및 경제성을 고려하여 고밀도 파형 폴리에틸렌관(high density polyethylene)으로 적용한다.³⁾

(13) 배수시설 결빙방지 대책⁴⁾

- ① 터널내 찬외기 유입으로 터널 배수시설(중·항배수관)의 결빙 발생하여 배수기능을 상실하고 터널 벽체의 우수 및 노면결빙 등의 문제점 발생할 수 있다.
 ② 배수관의 결빙을 방지하기 위하여 수정동결지수가 $700^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$ 이상이고 터널방향 $\text{N}50^{\circ} \text{E} \sim \text{N}45^{\circ} \text{W}$ 인 터널에서 입구로부터 200m 구간에 단열재를 삽입시키거나 부착한다.

(14) 터널배수구용 Grating Cover는 $430 \times 480 \times 75$ 의 규격을 적용한다.⁵⁾

(15) 타일세척수 배수관로 체계 개선⁶⁾⁷⁾

- ① 디치(Ditch)를 통한 타일세척수 분리배수
 ② 공동구와 디치(Ditch)를 PVC Pipe($\varnothing 50\text{mm}$, 간격 10m)로 연결
 ③ 배수관로(PVC Pipe $\varnothing 100\text{mm}$) 및 월류방지턱 미설치
 ④ 개선효과 및 관리방안

가. 공동구부 세척수 배수관로 및 월류방지턱 미설치에 따른 시공성 향상

나. 타일 세척 등으로 인한 오염물질 육안확인 및 유지관리(청소) 용이

다. 차로내 발생 노면수(노면유입 타일세척수 포함)를 터널 유입지하수와 분리 배수하여 수질오염 예방가능

라. Ditch내 쌓이는 이물질 타일 청소시 제거 등 주기적인 유지관리 필요

3) 터널 측방배수관 재질 개선 검토(설계처-3417, 2005.03.08)

4) 터널내 배수시설 결빙방지대책 검토(설계처-3293, 2006.12.14)

5) Grating Cover 형식 및 규격 검토(설계일 13201-149, 2000.04.15)

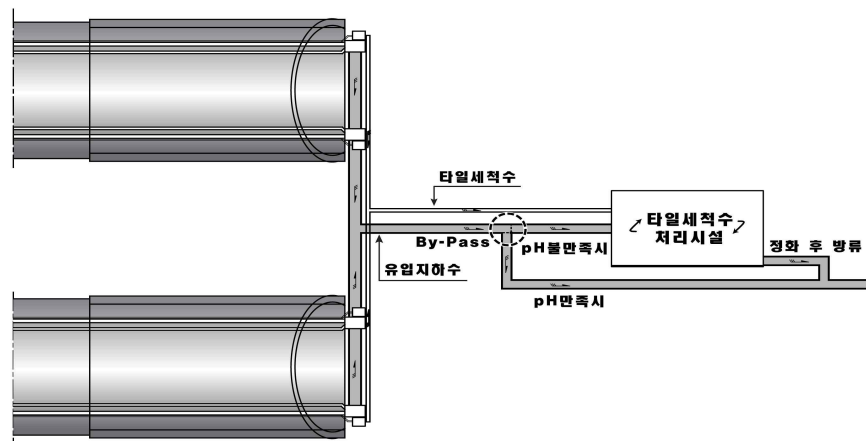
6) 터널 타일세척수 배수체계 개선방안(설계처-3868, 2009.7.21)

7) 터널 타일세척수 배수체계 개선방안 보완사항 통보(설계처-1654, 2010.4.6)

10.2.3 터널유출수 종합 관리 대책⁸⁾

(1) 건설중 터널폐수처리 시설의 운영

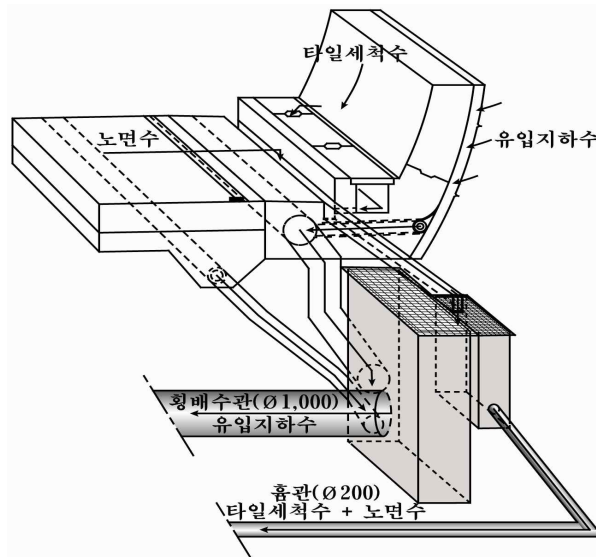
- ① 터널폐수처리시설 유출수 발생원 단위 : $0.3 \text{ m}^3/\text{km}/\text{min}/\text{tube}$
- ② 터널폐수처리시설 규모에 맞는 환경기술인 자격기준을 적용, 배치한다.
- ③ 터널폐수처리 시설 운용기간은 터널굴착 완료후 배출수의 수질기준이 만족시까지 운용한다.
- ④ pH 안정화 이전 터널폐수처리 시설 철거시 대책
 - 가. 별도의 pH 저감시설 설치·운영 및 소요비용 설계반영하며 터널유출수 pH가 배출허용기준을 만족시까지 운영하도록 한다.
 - 나. 필요시 지속적 pH 관리가 가능토록 유지관리 책임기관에 시설물 인계한다.
 - 다. 설치규모는 우기철 실측 최대 터널유출수량을 기준으로 산정하며 설치위치는 교량하부를 이용하고 부득이한 경우 별도 부지를 확보한다.
- ⑤ 설계·설치 및 유지관리 시 유의사항⁹⁾
 - 가. 터널입출구 지형 및 중양분리대 처리형식, 종단경사 등의 현장여건과 경제성을 감안한 연결방안을 마련한다.
 - 나. 유입지하수 pH 측정 등 유지관리의 효율성 등을 감안하여 타일세척수 처리시설 입구부에 By-Pass 기능 설치하도록 한다.
 - 다. 터널입출구에 집수정을 설치하여 1차로 미세 침전물을 제거한 후 배수관을 이용하여 타일세척수 처리시설로 유도한다.
 - 라. 타일세척수와 터널지하수 배수를 위한 집수정 설치시 단차로 인한 간섭이 발생하지 않도록 계획한다.
 - 마. 겨울철 동파 방지를 위하여 동결심도 이하로 배수관 매설한다.
 - 바. 집수정 및 배수관 규격은 터널유입지하수 등 배수용량, 유지관리를 감안하여 설치한다.



<그림 10.2.2> 터널공동구 타일세척수 배수관로 설치개념도

8) 터널유출수 종합관리 대책(건설환경실-2409, 2007.11.18)

9) 터널 타일세척수 배수체계 개선방안(설계처-3868, 2009.7.21)



<그림 10.2.3> 터널공동구 타일세척수 배수관로 설치 상세도

(2) 타일세척수 관리대책

① 공사중 터널유입지하수 pH기준(6.5~8.5) 만족시 배수관로 연결방안

- 가. 공사중 터널유입지하수의 pH치를 지속적으로 모니터링하여 기준치를 만족할 경우, 현장 여건을 감안하여 세척수처리시설을 통하지 않고 방류 가능하다.
- 나. 단, 유입지하수와 세척수처리시설간 연결관로(By-Pass 기능 포함) 설치 필요하다(타일 청소 이후, 유입지하수를 세척수처리시설 내부로 흘려보내 세척수 처리시설에 오염된 세척수가 잔류하지 않도록 조치)

② 터널 타일세척수 처리시설

가. 황산 사용에 따른 안전사고 예방대책

- (가) pH 저감시설 설치조 상단에 환기구(무동력 벤츄레이터) 설치

나. pH 저감시설 설치조 내 전기기기 보호대책

- (가) pH 저감시설 설치조 외벽에 월류방지턱(10cm 이상) 설치

다. 타일세척수 처리시설 여과조에 배수구 추가설치

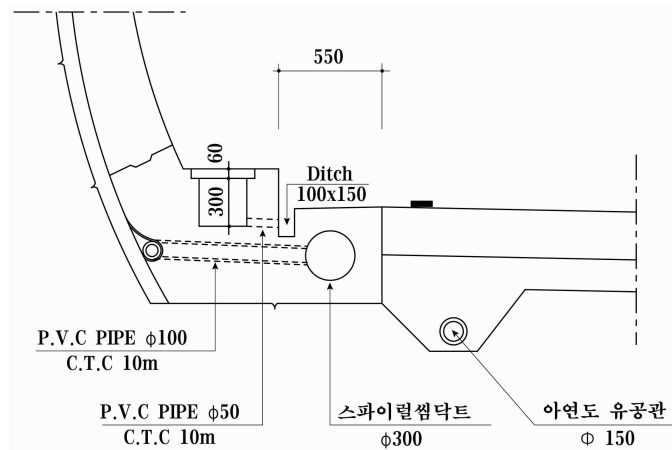
- (가) 타일세척수 처리시설 내에 지하수가 누적되지 않고 바로 배출될 수 있도록 배수구를 2단으로 설치
- (나) 개폐가 가능하도록 설치하여, 터널청소 시에는 상단의 배수구 구멍을 막고 타일세척수 처리

라. 황산이 직접 접촉되는 침전조(1) 내부 부식방지를 위해 “내산성” 에폭시 코팅 실시

마. 동계기간 pH 미터 및약품투입노즐이 동파되지 않도록 보온조치 실시

구 분	자연환기	기계환기
단면도		
평면도		
단면 A-A		

<그림 10.2.4> 터널공동구 타일세척수 배수관로 설치 단면도



<그림 10.2.5> 터널공동구 타일세척수 배수관로 상세도

10.3 방수공

10.3.1 방수공법

(1) 방수공법 비교

[표 10.3.1] 배수형과 비배수형 터널의 방수공 비교

구분	배수형 터널의 방수공(부분 방수)	비배수형 터널의 방수공(완전 방수)
형식	방수시트를 터널 아치부와 측벽부만 설치하고 별도의 배수층을 설치하여 터널 내부로 유도하여 배수 처리함으로써 근본적으로 수압이 걸리지 않게 계획된 형식	터널 전단면에 방수 시트에 의한 차수층을 설치하여 지하수의 유입을 완전히 차단하는 형식
장점	① 콘크리트 라이닝 수압을 고려하지 않는다. ② 특수 대단면 시공이 가능하다. ③ 누수시 보수가 용이하다 ④ 시공비가 적게 든다.	① 유지 관리비가 적게 든다. ② 터널 내부가 청결하며, 관리가 용이하다. ③ 지하수위가 유지되므로 주변 환경에 영향을 주지 않는다.
단점	① 집수 용량이 커지며, 유지비가 많이 든다. ② 공사 기간 중 지하수위 저하로 주변 지반의 침하와 지하수 이용에 문제가 생길 수 있다.	① 시공비가 많이 든다. ② 특수 대단면에서는 단면이 커져서 비경제적이다. ③ 누수 발생시 완전 보수가 곤란하며, 보수비가 많이 든다. ④ 2차 라이닝 두께가 커지며, 경우에 따라 철근 보강 필요
적용	지질 조건이 양호하며 지형에 따라 자연 배수가 가능한 지역	도심 등 지하수위가 높거나 지질 조건이 불량한 경우

(2) 방수공 세부사항

- ① 방수에 사용되는 재료는 일반형 또는 투명형을 사용하며, 사용 재료와 관련된 품질기준은 고속도로 전문시방서 7-7장 배수 및 방수의 내용에 준하여 사용한다.
- ② 콘크리트 라이닝에 철근을 배근하는 경우 방수막 파손을 방지하기 위하여 철근의 이음부에는 방수막을 보호할 수 있는 조치를 취하여야 한다.
- ③ 비배수형 방수형식 터널의 경우, 방수막과 함께 콘크리트라이닝의 재료로서 수밀콘크리트를 사용하여 수밀성을 유지하여야 한다.
- ④ 콘크리트라이닝의 시공 이음부, 수축 및 팽창 이음부에는 지수판을 설치하여야 한다.
- ⑤ 부직포와 일체화되면서 방수쉬트 배면 상태를 육안으로 확인 가능한 투명 방수쉬트를 적용할 수 있다.¹⁰⁾
- ⑥ 개착부 터널 외부방수 보호를 위하여 폴리에틸렌 발포단열재를 적용한다.¹¹⁾

10) 터널 방수쉬트 설계적용 방안 검토(설계도 10201-393, 2002.08.13)

11) 개착부 터널 방수기준(설계일 13210-1154, 1999.12.30)

10.3.2 하저 및 해저터널의 방수형식

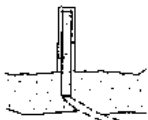
- (1) 하저·해저 터널은 상시 수위가 터널 상부의 지반두께보다 현저히 높게 위치하는 경우로서 지반 조건과 재료의 구조적 성능을 감안하여 작용수압과 유입량의 상관관계를 고려하여야 한다.
- (2) 하저·해저 터널을 배수형 방수형식 터널로 선정하는 경우 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 지반투수성(혹은 유입량)
 - ② 유입량 저감대책 시행의 용이성
 - ③ 배수 시스템(저류조 및 펌핑 시스템)의 설치가능성 및 유지관리의 경제성
- (3) 하저·해저 터널을 비배수형 방수형식으로 선정하는 경우 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 단면형상
 - ② 재료의 구조적 저항능력
 - ③ 허용누수량
- (4) 해저터널의 경우 해수 유입의 가능성을 고려하여 염해에 대한 내구성을 갖는 방수 및 배수 재료를 사용하여야 한다.
- (5) 수압 및 유입량 저감을 위하여 차수 그라우팅을 실시할 수 있다. 이 경우 장기 유입에 따른 그라우팅 차수효과의 내구성과 그라우트재의 열화 이동에 따른 배수기능의 저하 영향을 검토하여야 한다.
- (6) 하저·해저 터널의 경우 장대 터널로 건설되어 유입량 규모가 상당하므로, 이를 저감시키기 위하여 일반부에 설치되는 터널과 다르게 비배수형 방수형식을 채용할 수 있다.
- (7) 배수형 방수형식 채용 시에는 배수 시스템의 규모, 유입수 배제방안 및 유지관리비에 대한 적절한 검토가 수행되어야 한다.

10.4 용수처리공

10.4.1 용수처리공 일반

- (1) 숏크리트 시공시 굴착면에서 많은 용수가 나올 때에는 숏크리트 시공 전에 용수를 끌어내는 용수 처리공을 설치한다.
- (2) [표 10.4.1]은 일반적으로 적용하고 있는 숏크리트 타설면 용수처리방법의 예이다.

[표 10.4.1] 숏크리트의 용수 대책 예

대 책 공 법			
균열 등 비교적 좁은 범위에서의 용수	배수 구멍에 의해 배수 하는 방법		배수 구멍에서 집수, 배수 시켜 주변으로 뿜어낸다.
	반가른 파이프로서 끌어내는 방법		용수 장소에 호스 혹은 반가른 플렉시블 파이프를 배치하여 물을 끌어내고 파이프 위에서 뿜어 낸다.

10.4.2 누수처리공

(1) 누수량이 적고 수압이 작은 경우 지수공법을 적용하며 [표 10.4.2]에 제시되고 있는 방법이 있다.

(2) 도수공법

- ① 누수량이 많고 지수공법으로 누수처리가 곤란한 경우 사용하는 방법이다.
- ② 절개공법과 통수공법이 있다.([표 10.4.3] 참조)

(3) 배면처리 공법

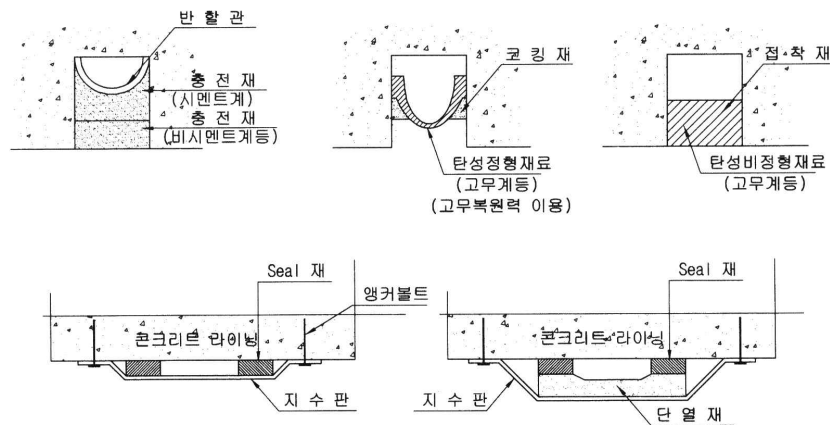
- ① 누수량이 많고 집중적으로 분출하는 경우 사용하는 누수처리 방법이다.
- ② 수평시주를 하여 그 속에 유공 집수관을 삽입하여 배수하는 방법을 말한다.
- ③ 수맥을 찾아 천공하는 작업이 난이하다.

[표 10.4.2] 지수공법 비교

공법 항목	V-cut 지수	우레탄, 시멘트 도포	모르타르 지수
장 점	소량이 누수되는 곳을 V-cut하고 급결 방수 모르타르를 시공하여 간단하게 지수할 수 있다.	누수 정도가 경미하고 분포가 좁은 경우에 용이하게 지수할 수 있고, 크랙 등의 보수를 겸하여 할 수 있다.	누수가 어느 정도 넓은 범위에서 발생하는 곳에 적용가능 하며 누수에 의한 콘크리트 열화에 대한 보강 효과도 있음
단 점	V-cut부에 모르타르를 부착시켜 지수하므로 시공이 부실할 경우 떨어지기 쉽다.	얇은 피막에 의하여 누수가 견디어야 하고, 도포시 벽면 청소 등의 처리가 필요하다.	인접된 강도가 약한 곳으로 물이 재차 누수되는 경우 도수 공법과 병용이 필요하다.

[표 10.4.3] 도수공법 비교

공법 항목	절개공법	통수공법
장 점	콘크리트 라이닝 절개에 의하여 도수 단면이 크게 되어 메워지는 경우는 적으며, 매설 방수재는 고무 등의 탄성체로 온도 변화에 대응 가능	콘크리트 라이닝을 절개하지 않고 연속 통구조로 도수하므로 광범위하게 누수 처리가 된다.
단 점	도수 단면이 적은 경우, 메워지기 쉬우며 매설 방수재로 모르타르를 사용할 경우에는 약하다.	시설한계선을 침범하기 쉽고, 단면이 작은 경우 메워지기 쉽다. 미관 및 환기에 좋지 않다.



<그림 10.4.1> 누수 처리의 실시 예

10.4.3 방수등급별 허용 누수량

- (1) 터널의 방수설계에 있어서는 터널의 용도에 적합한 방수등급을 정하고 각 방수등급별로 [표 10.4.4]과 같은 누수량을 허용할 수 있다.
- (2) 단, 발주자의 여건에 따라 조정하여 적용할 수 있다.

[표 10.4.4] 터널의 방수등급별 허용누수량 적용 사례 (STUVA)

방수 등급	내부 상태	용 도	상 태 정 의	터널연장을 기준한 허용 누수량 ($\ell/m^2/day$)	
				10m	100m
1	완전건조	주거공간, 저장실, 작업실	벽면에 수분의 얼룩이 검출되지 않을 정도의 누수 상태	0.02	0.01
2	거의건조	동결위험이 있는 교통터널, 정거장 터널	벽면의 국부적인 장소에 약간의 수분얼룩이 검출 될 수 있는 정도, 수분얼룩을 건조한 손으로 접촉 하여도 손에 물이 묻지 않을 정도, 흡수지 또는 신 문지를 붙여 보아도 붙여진 부분이 습기로 인하여 변색되지 않을 정도의 누수	0.1	0.05
3	모관습윤	방수 2등급 이상의 방수가 요구되지 않는 교통터널구간	벽면의 국부적인 장소에 수분얼룩이 검출되는 정 도, 수분얼룩에 흡수지 또는 신문지를 붙였을 경우 습기로 인하여 변색되지만 수분이 방울져 떨어지 지 않을 정도의 누수	0.2	0.1
4	물방울이 가끔 떨어짐	시설물 터널	독립된 장소에서 물방울이 가끔 떨어지는 정도의 누수	0.5	0.2
5	물방울이 자주 떨어짐	하수 터널	독립된 장소에서 물방울이 자주 떨어지거나 방울 져 흐르는 정도	1.0	0.5

※ 주) 독일의 지하교통시설 연구협회(STUVA)의 추천 값