

KR C-12060

Rev.6, 13. August 2026

터널 배수 및 방수

2026. 08. 13



국가철도공단

REVIEW CHART

[illegible]

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 설계일반	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	2
2. 조사	2
2.1 조사 및 계획 일반	2
2.2 조사	2
2.3 계획	2
3. 재료	2
3.1 재료일반	2
3.2 재료특성	2
3.3 품질 및 성능 시험	2
4. 설계	2
4.1 설계 일반	2
4.2 배수형식의 선정	3
4.3 배수방법의 세부사항	3
4.4 하저 및 해저 터널의 방수형식	3
 해설 1. 배수 및 방수 설계일반	 4
1. 터널굴착과 지하수 관계	4
2. 지하수와 인접시설물과의 관계	5
3. 지하수처리 형식의 분류	5
 해설 2. 배수형식의 선정	 8
1. 배수형 방수형식 터널	8
1.1 배수형 방수형식 터널의 특징	8
1.2 배수형 방수형식 터널의 적용조건	9
1.3 배수형 방수형식 터널의 세부사항	9
2. 비배수형 방수형식 터널	13
2.1 비배수형 방수형식 터널의 특징	13
2.2 비배수형 방수형식 터널의 적용조건	13

2.3 비배수형 방수형식 터널의 세부사항	14
3. 배수형 방수형식 터널과 비배수형 방수형식 터널의 비교	15
해설 3. 개착식터널의 방수	17
1. 개착식터널의 방수 개념	17
2. 개착터널의 방수 일반	17
3. 굴착터널과의 접속부 방수	17
4. 폼타이 볼트 설치 및 방수	18
해설 4. 시공 및 신축이음부의 방수	19
해설 5. 허용누수량	20
해설 6. 다중아치터널 방수	21
1. 다중아치터널의 방수개념	21
2. 다중아치터널 방수설계와 시공시 고려사항	21
3. 다중아치터널 누수대책	21
해설 7. 한랭지 터널 동상방지 설계	24
1. 한랭지 터널의 선정기준	27
2. 한랭지 터널 설계 및 동상 방지 대책	29
RECORD HISTORY	24

1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 기준의 목적은 공용 중 철도 터널의 안전성을 확보하고 철도 터널의 기능을 유지하며 라이닝의 열화를 방지하기 위한 배수 및 방수 설계에 필요한 기술적 사항들을 제시하는 것이다.

1.2 적용 범위

- (1) KDS 27 50 05(1.2)를 따른다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

- (1) KDS 27 50 05(1.3.1)을 따른다.

1.3.2 관련 기준

- (1) KDS 27 50 05(1.3.2)를 따른다.

1.4 용어의 정의

- (1) 쏜크리트(Shotcrete) : 굳지 않은 콘크리트를 가압하여 노즐로부터 뿜어 소정의 위치에 부착하는 콘크리트.
- (2) 용출수(Sump water) : 터널의 굴착면으로부터 용출되는 지하수.
- (3) 인버트(Invert) : 터널단면의 바닥 부분을 통칭하며, 원형터널의 경우 바닥부 90°구간의 원호 부분, 마제형 및 난형 터널의 경우 터널 하반의 바닥 부분을 말함. 인버트의 형상에 따라 곡선형 인버트와 직선형 인버트로 분류하며 인버트 부분의 콘크리트라이닝 타설 유무에 따라 폐합형 콘크리트라이닝과 비폐합형 콘크리트라이닝으로 분류함.
- (4) 접속부(Tunnel intersection) : 서로 다른 터널이 접속되는 구간 또는 동일 터널에서 단면의 형태, 규모가 다른 터널 단면이 접속하는 구간.
- (5) 지반(Ground) : 건설공사에 관련한 지구의 표층 부분이며, 구조물의 기초나 굴착 등의 대상이 되는 부분.
- (6) 지반조건(Ground condition) : 터널 주변 지반의 지형, 지질, 지반특성, 수리·수문조건 등을 말함.
- (7) 천장부(Crown) : 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간.
- (8) 측벽부(Wall) : 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간.



- (9) 콘크리트라이닝(Concrete lining) : 터널의 가장 내측에 시공되는 무근 또는 철근보강 콘크리트의 터널부재.

1.5 기호의 정의

- (1) KDS 27 50 05(1.5)를 따른다.

2. 조사 및 계획

2.1 조사 및 계획 일반

- (1) KDS 27 50 05(2.1)을 따른다.

2.2 조사

- (1) KDS 27 50 05(2.2)를 따른다.

2.3 계획

- (1) KDS 27 50 05(2.3)을 따른다.

3. 재료

3.1 재료 일반

- (1) KDS 27 50 05(3.1)을 따른다.

3.2 재료 특성

- (1) KDS 27 50 05(3.2)를 따른다.
- (2) 방수재료는 인장강도 16MPa 이상, 인열강도 6MPa 이상, 신도 600% 이상 가열신축량이 신장 및 수축 시 각각 2.0mm 이하 및 4.0mm 이하의 재질로서 두께가 2mm 이상을 원칙으로 하되, 동등 이상의 재질인 경우 두께를 조정하여 사용할 수 있다.

3.3 품질 및 성능 시험

- (1) KDS 27 50 05(3.3)을 따른다.

4. 설계

4.1 설계 일반

- (1) KDS 27 50 05(4.1)을 따른다.

4.2 배수형식의 선정

- (1) KDS 27 50 05(4.2)를 따른다.

4.3 배수방법의 세부사항

- (1) KDS 27 50 05(4.3)을 따른다.

- (2) 배수관을 유공관으로 하는 경우 유공관 주변 채움은 자갈 또는 고강성 투수성 재료를 사용할수 있다. 고강성 투수성 재료는 지반조건이 불량하여 세립토 유실에 따른 지반열화가 예상되는 경우에 적용하되, 일축압축강도는 10MPa 이상, 투수계수는 10^{-1}cm/sec 이상을 확보하여야 한다.

- ① 터널 땀암거 유공관은 외압강도를 고려하여 시공 및 공용 중 변형 또는 찌그러짐이 발생하지 않는 강성을 가지는 재료로 시공하여야 한다.

- ② 터널 땀암거 유공관 주변 채움재는 투수성 확보를 위해 다음의 입도기준을 만족하여야 한다.

표 1. 터널 땀암거 채움재

구분	공칭 입경에 대한 체 통과질량 백분율(%)									
	75mm	40mm	25mm	20mm	13mm	5mm	2.5mm	2mm	0.4mm	0.08mm
25mm 굵은 골재	-	100	95~100	-	25~60	0~10	0~5	-	-	-

4.4 하저 및 해저 터널의 방수형식

- (1) KDS 27 50 05(4.4)를 따른다.



해설 1. 배수 및 방수 설계일반

1. 터널굴착과 지하수 관계

터널굴착은 지하수위 하부에서 이루어질 수 있으며, 이러한 경우 굴착된 터널이 일종의 배수구 역할을 하게 되기 때문에 배수가 진행되고 시간이 경과함에 따라 원래의 지하수위는 점점 하강하게 된다. 차수 그라우팅 등의 공법을 적용한다면 터널 내부로 유입되는 지하수를 일시적으로 차단할 수 있을지 모르지만 동결공법 등과 같은 특수한 지하수 처리공법을 적용하지 않는 한 장기적인 터널 시공 시에는 배수로 인해 대부분 지하수위가 하강하게 된다. 하저 또는 해저터널과 같이 지하수위가 지표면 위에 위치하는 경우에는 터널시공으로 인한 지하수위 하강 현상은 거의 발생하지 않지만 시공 시 계속적인 지하수 유출현상으로 인하여 터널 굴착면 주위의 수압은 수위에 해당되는 정수압보다 훨씬 감소하게 된다.

터널에서 계속하여 배수하는 경우 유입되는 수량이 배출되는 수량보다 적게 되면 지하수위가 터널 내부의 배수구 위치까지 하강하게 된다. 이렇게 시간의 경과에 따라 지하수위가 변하는 흐름을 부정류라 하며 이 경우 유입되는 지하수량은 일정기간 감소과정을 거친 후 어느 시점부터는 일정한 양을 유지하게 된다(<그림 1(a)> 참조).

그러나 지하수의 공급량이 많고 지반의 투수성도 큰 경우에는 배출수량과 유입수량이 거의 동일하게 되거나 배출수량이 오히려 공급수량보다 적게 되어 계속적인 배수에도 불구하고 터널 상부의 원래 지하수위는 크게 변하지 않는다. 이러한 지하수의 흐름을 정상류라 한다(<그림 1(b)> 참조). 이 경우에는 시간이 경과함에 따라 유입수량도 일정하게 유지된다. 따라서 지반조건과 지하수 조건 및 지하수위 보존 관련 규제 조건에 따라 터널에서 배수여부를 결정하여야 한다.

터널 설계 시의 지하수 처리공법과 관계없이 시공단계에서는 지속적인 배수가 이루어지기 때문에 굴착면에서의 수압은 영(Zero)이 되게 된다. 그러나 터널을 완공한 후 시간이 경과하면서 배수조건이 바뀌게 되면 굴착면 주위의 수압도 변하게 된다. 즉, 배수조건이 시공단계 시보다 좋지 못하거나 배수를 실시하지 않을 경우에는 굴착면 주위의 수압이 시공단계와 달리 증가하게 된다.

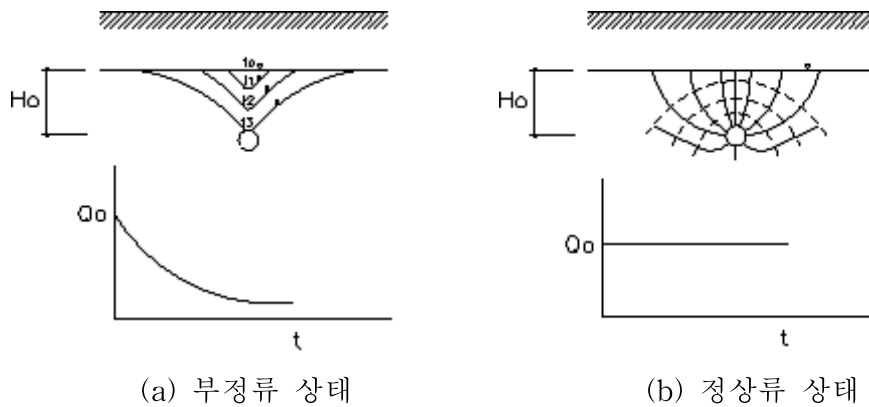


그림 1. 배수형 방수형식 터널에서의 지하수 유입 형태

2. 지하수와 인접시설물과의 관계

터널 시공 시 지하수위의 저하로 인하여 발생하는 지반침하 문제는 터널의 배수형식에 관계없이 공통적으로 발생될 수 있는 문제이다. 왜냐하면 공사기간 동안에는 지속적으로 배수가 진행되기 때문이다. 다만, 지반이 점토층으로 이루어져 있어 장시간의 압밀시간이 소요되는 경우, 즉, 공사기간이 압밀기간보다 짧은 경우에는 배수형식에 따라 압밀침하가 발생될 수도 있다. 이 경우 배수형 방수형식 터널에서는 비배수형 방수형식 터널에 비해 추가의 압밀침하를 야기시킨다. 그러나 사질성을 띤 충적층의 경우 토층이 이미 과거에 지하수 하강과 상승을 경험하였다면, 배수에 따른 지하수위 하강으로 인한 지반침하는 극히 적을 것이다. 또한, 우리나라에 편재해 있는 화강풍화토(풍화암)의 경우 그 조직이 아주 치밀하기 때문에 지하수 하강으로 인한 침하는 무시할 정도로 미소하다고 볼 수 있다.

산악지와 같이 부정류의 흐름이 예상되는 지역은 전술한 바와 같이 시간이 경과하면 지하수 용출수량은 크게 늘지 않는다. 또한, 지하수를 배수하는 데 소요되는 비용도 과다하지 않아 유지관리면에서도 경제적이다. 그러나 이러한 지역이라 할지라도 비배수형 방수형식 터널로 건설하게 되면 지하수위에 해당하는 정수압이 콘크리트라이닝에 작용되는 것으로 가정하여 설계할 수밖에 없으므로 콘크리트라이닝의 두께가 과다해지고 필요 이상의 큰 공사비가 소요되게 된다. 특히 터널의 단면이 크거나 수압이 큰 경우에는(대심도 터널) 수압을 지탱하도록 하는 콘크리트라이닝의 설계가 거의 비현실적이 된다.

3. 지하수처리 형식의 분류

터널의 시공위치와 지반의 특성 상 지하수가 굴착된 터널의 전주면을 통해서 터널 내부로 유입되기 때문에 방수를 실시하게 되는데 쉘드터널에서는 콘크리트 세그먼트로 하여금 방수기능을 담당하도록 하고, NATM 개념의 터널공법에서는 콘크리트라이



닝과 숏크리트 사이에 방수막을 설치하여 터널 내부로의 지하수 유입을 차단하여야 한다. 이때 세그먼트 또는 콘크리트라이닝 외부의 지반에 지하수 유도 배수관을 두어 인위적으로 배수를 실시하여 콘크리트라이닝에 지하수 수압이 작용하지 않도록 하는 방법을 배수형 방수형식 터널로 분류한다. 이 개념은 <그림 2>와 같다.

일반터널에서는 <그림 2>와 같이 인버트 상부(천장부와 측벽부)에만 방수막을 설치하고 하부에서 배수하는 부분 배수형 방수형식을 채택하는 경우가 대부분이다. 하지만 터널 내부로 시설물의 부식을 촉진시키는 성분을 함유한 유해지하수 악취를 동반한 오수 등의 유입을 방지할 필요가 있거나 이러한 지하수로부터 터널 내부 시설물이나 콘크리트라이닝을 보호하여야 한다. 이러한 경우 콘크리트라이닝 외부 전주면을 방수막으로 둘러싸고 방수막 외부에 배수로를 설치하여 배수하는 외부 배수형 방수형식 터널도 적용할 수 있다(<그림 3> 참조). 반면 유도배수관을 사용하여 인위적으로 지하수를 배수하는 경우와 달리 지하수를 배수하지 않는 형식을 비배수형 방수형식 터널이라 정의한다(<그림 4> 참조). 비배수형 방수형식 터널에서는 지하수위에 해당하는 지하수 수압이 콘크리트라이닝에 작용하게 된다.

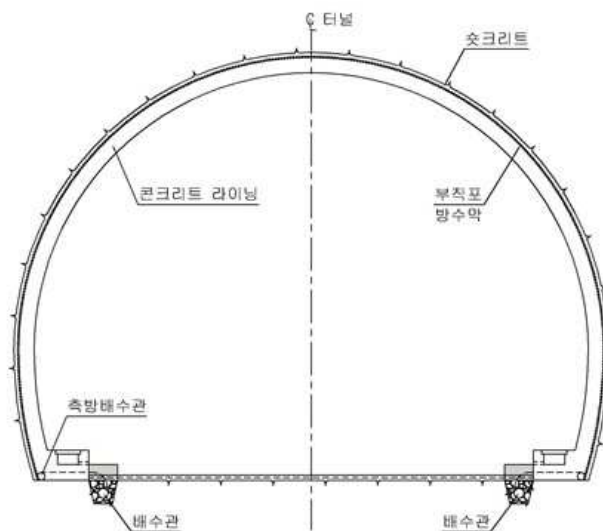


그림 2. 배수형 방수형식 터널의 개념도

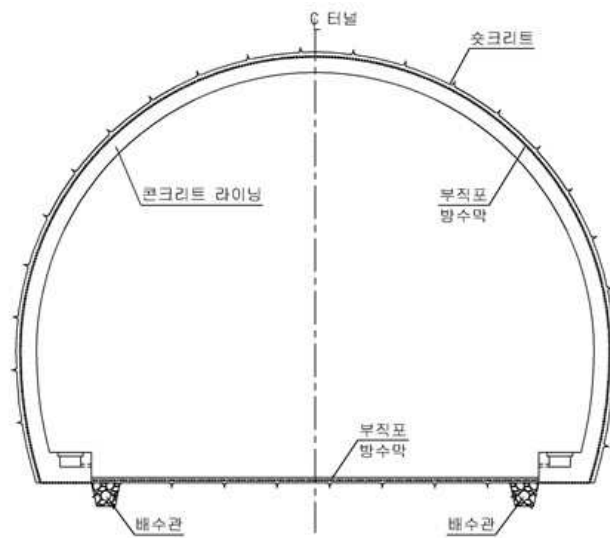


그림 3. 외부 배수형 방수형식 터널의 개념도

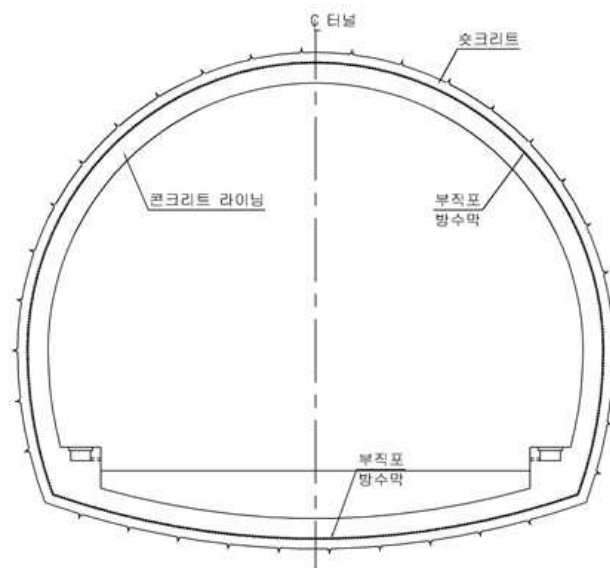


그림 4. 비배수형 방수형식 터널의 개념도



해설 2. 배수형식의 선정

1. 배수형 방수형식 터널

1.1 배수형 방수형식 터널의 특징

배수형 방수형식 터널은 지하수 수압이 콘크리트라이닝에 작용하지 않기 때문에 터널형상 선정이 자유롭고 경제적인 굴착면적과 콘크리트라이닝 단면으로 시공할 수 있으나 터널의 내구연한 동안 배수에 따른 유지관리 비용을 지불하여야 한다. 지반여건상 공급되는 지하수량이 많은 경우에는 과다한 배수경비를 지출하여야 하는 경우도 발생한다. 또한 지하수위의 저하를 초래하여 지하환경을 변화시키기도 하고 경우에 따라 터널주변의 지반을 침하시켜 인접 시설물에 손상을 주기도 한다. 이 이외에도 시간이 경과함에 따라 터널의 배수계통 기능이 저하되거나 마비되면 콘크리트라이닝에 수압이 작용하게 된다.

따라서 이러한 현상이 발생하지 않도록 배수계통을 설계하고 다른 시설물과 마찬가지로 지속적인 유지관리를 실시하여야 한다. 간혹 배수형 방수형식 터널의 배수기능 저하를 전제로 하여 콘크리트라이닝에 잔류수압을 하중으로 작용시켜 설계하여야 한다는 의견이 제시되고 있다. 하지만 이 견해는 배수형 방수형식 터널은 수압이 작용하지 않도록 설계하여 건설하는 터널이라는 기본개념에 상충되는 견해임을 주목할 필요가 있다.

시간이 지나면서 배수재의 성능이 저하되거나 배수관의 막힘 현상이 발생한다면 터널 수명이 반영구적인 점을 고려할 때, 지하수 수압은 원래의 값까지 상승할 것으로 보아야 한다. 만약 배수계통의 막힘 현상에 대한 적절한 조치 등으로 지속적인 기능저하가 발생하지 않는다면 수압상승은 어느 정도까지로 제한될 것이다. 따라서 배수기능 저하로 인한 구조적 문제는 해소되며 더 이상의 개념혼동도 피할 수 있을 것이다.

특히 숏크리트의 요철면과 배수재와의 공간적인 밀착상태 및 지하수와 함께 지속적으로 이동하는 세립자들(Fine Particles)이 배수효과에 미치는 영향을 규명하고, 어느 시점에 어느 정도의 잔류수압이 발생될 것인가를 결정하여 설계에 정확히 반영한다는 것은 사실상 어렵고, 제시한다고 할지라도 그 결과의 신뢰성 역시 크지 않다.

따라서 현재까지의 외국의 사례나 그 동안의 경험에 비추어 볼 때 잔류수압이 우려되는 곳에 대해서는 배수계통의 배수능력을 대폭 향상시켜 지하수 수압의 발생을 근본적으로 해소하고자 하는 배수방안이 잔류수압을 반영하여 설계하는 방안보다 더 합리적이며 배수형 방수형식 터널 개념에도 상충되지 않게 된다. 다만 지반조건이나 지하수 조건 상 배수형 방수형식 터널의 배수기능 문제가 장기적 관점에서 심각할 것으

로 예상된다면 지하수처리 개념 측면에서는 배수개념의 접근보다는 비배수개념의 접근이 훨씬 합리적인 해결대안이 될 것이다.

그러나 배수형 방수형식 터널에서 배수시설의 기능저하 문제는 생각보다 복잡한 요인의 영향을 받을 수 있으므로 지속적인 현장관찰과 분석이 요구되고 지속적으로 발전시켜야 할 기술사항이다. 따라서 다소 보수적인 접근이 필요하고 시공현장 여건의 상세한 분석이 요구된다.

특히, 지하수에 콘크리트라이닝 또는 터널 내부시설에 유해한 물질이 함유되어 있는 경우에는 지하수 성분에 대한 분석을 실시하여 이러한 유해요인으로부터 터널시설물이 보호될 수 있는 외부 배수형 방수형식을 채택하는 것이 바람직하다. 또한 지반의 투수성이 크고 지하수의 공급이 무한한 경우에는 굴착면 주변을 따라 차수 그라우팅을 실시하여 유입되는 지하수량을 감소시켜야 하며 지하수량을 산정하여 유입되는 지하수량이 배수시설을 통하여 원활히 배수될 수 있도록 조치하여야 한다.

1.2 배수형 방수형식 터널의 적용조건

배수형 방수형식 터널의 콘크리트라이닝에는 수압이 작용하지 않는 것으로 설계하여야 한다. 유입지하수가 많거나 장기적으로 배수기능 저하가 우려되는 지역에 대해서는 배수시스템의 기능을 향상시켜 콘크리트라이닝에 수압이 작용하지 않도록 조치하여야 한다. 다음의 경우에는 배수형 방수형식 터널로 시공하는 것이 바람직하다.

- (1) 지반조건이 양호하여 용출수가 적은 반면 지하수위는 높은 지반조건일 경우에는 지하수처리 비용이 저렴하기 때문에 배수형 방수형식 터널을 적용하여야 한다. 이 경우 비배수형 방수형식 터널을 적용하게 되면 비경제적일 뿐만 아니라 방수 기술 상의 문제로 인해 누수가 계속 발생하여 터널 내부 환경이 나빠진다. 필요 이상의 누수가 발생하면 겨울철의 결빙에 따른 제반 문제들을 야기시킬 수 있다.
- (2) 지하수위가 높아 수압이 약 0.6MPa 이상인 경우에는 터널의 안전성과 방수기술의 한계성을 감안하여 배수형 방수형식 터널을 채택하는 것이 바람직하다.
- (3) 주변지반 조건 상 과다한 용출수가 예상되는 지역에 터널을 건설 시공하여야 하는 경우에는 용출수를 감소시켜 양수로 인한 유지관리 비용을 절감하기 위하여 터널주위 지반에 차수그라우팅을 계획한 후에 배수형 방수형식 터널을 적용할 수 있다. 이 경우에는 차수그라우팅의 장기적인 성능 유지여부를 검토하여야 하며, 배수시스템의 기능이 저하되지 않아 용출수를 원활히 처리할 수 있도록 조치하여야 한다.
- (4) 시공 중 지하수의 저하를 검토하여 필요 시 관정개발 등의 대책을 강구하여야 한다.

1.3 배수형 방수형식 터널의 세부사항

- (1) 숏크리트와 방수막 사이에 부직포를 설치하여 유입지하수를 터널의 측면 하단부 또는 인버트 중앙부에 설치된 배수관으로 배수되도록 한다. 이 때 부직포는 유입지하



- 수를 충분히 배수시킬 수 있는 통수능력을 갖추도록 계획하여야 한다.
- (2) 세립분을 함유한 지반에서는 부직포의 막힘 현상 가능성을 검토하고 필요 시 부직포의 두께를 증가시키거나 드레인보드(Drain board) 또는 이와 동등 이상의 배수능력을 가지는 기타의 배수용 자재, 배수관 등을 추가로 설치하여 터널의 내구연한 동안 배수시스템의 충분한 통수능력을 확보할 수 있도록 계획하여야 한다.
- (3) 터널 내 용출수는 중앙배수관 또는 측방배수관을 통해 배수되는 것이 일반적이나 동등 이상의 통수능력을 갖는 배수방법을 적용할 수 있다. 또한 배수상태 점검이나 청소가 가능한 시설을 일정한 간격으로 설치하여야 한다.
- (4) 배수재는 외부로부터의 압력에 의한 압착이나 주변 지반 토립자의 유동에 의한 폐색 등에 따라 장기적으로 통수능의 저하 가능성이 있으므로 필터 조건 및 내구성을 고려하여 배수재를 선정하여야 하며, 경우에 따라 방수막과 일체형으로 시공할 수 있다.
- ① 터널의 아치부와 측벽부에 설치하는 배수재는 유입 용출수를 원활히 배수할 수 있는 배수능력을 갖춘 것으로 한다.
- ② 터널 배수용 부직포에 대한 품질기준은 KRACS 47 10 70:2024 <표 7.2-1>을 기준으로 한다.
- (5) 배수재를 통해 집수된 용출수를 배수하는 측방배수관은 지름 100mm 이상의 유공관 또는 이와 동등 이상의 통수능력을 가진 배수관을 사용하여야 한다. 이 때 라이닝의 구조적 안정성을 손상시키지 않도록 측방배수관 설치를 계획하여야 한다.
- (6) 터널 바닥에 설치하는 주배수관의 지름은 200mm 이상이 되어야 하며, 콘크리트관, 아연도 강관, 고밀도 폴리에틸렌관 등을 사용할 수 있다. 고밀도 폴리에틸렌관을 주배수관으로 사용할 경우에는 외력으로부터 관을 보호할 수 있는 조치를 강구하여야 한다.
- ① 터널 맨암거용 배수재의 대한 품질기준은 KRACS 47 10 70:2024 <표 7.1-1>을 참조한다.
- ② 고밀도 폴리에틸렌 유공관 품질기준은 KCS 11 40 20 지하배수 (2.1.6)을 참조한다.
- (7) 콘크리트라이닝의 누수 또는 내부 청소수 및 비상사태 등에 대비하여 적절한 배수처리 시설을 갖추도록 계획하여야 한다.
- (8) 시공 중에도 용출수를 처리할 수 있는 적절한 배수시설을 갖추도록 계획하여야 하며, 굴착면에서 용출수가 발생할 경우에는 용출수처리 대책을 <그림 5>의 실례와 같이 강구하여야 한다.

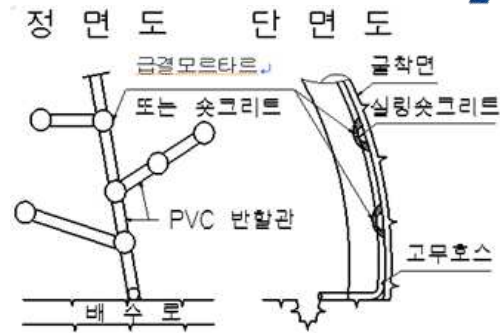
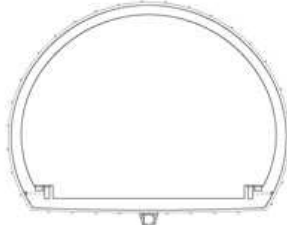


그림 5. 용출수 처리 대책의 실례

- (9) 터널 내 배수 시스템은 침전물의 퇴적에 의한 통수능력 저하를 고려하여 적정 거리로 배수 확인공 또는 맨홀을 설치하여 청소가 용이하도록 계획하여야 한다.
- (10) 갱구부와 같이 동결이 우려되는 경우에는 외기의 영향을 받지 않는 동결심도 하부에 배수관을 위치시키거나 단열재 설치를 계획하여야 한다.
- ① 터널 내 용출수가 주배수관 및 측방배수관 등 배수시설을 통하여 원활히 배수될 수 있도록 통수단면적을 확보해야 한다.
 - ② 동결 우려가 있는 한랭지 터널에서 터널 용출수 배출용 외부 배수구는 갱문에서부터 외부 집수정 또는 합류점까지의 최소 배수구배를 5‰이상 적용하여야 한다. 단 터널의 종단 기울기를 고려하여 배수구배를 결정한다.
 - ③ 특히, 터널 갱문에서부터 내부 300m 까지 횡방향 연결관과 콘크리트라이닝 배면 배수층의 상부아치 120°하부에 단열재를 설치하고 집수정은 밀폐형 콘크리트 덮개를 설치하여야 한다.
 - ④ 이 외 필요시 열선 설치 등 별도 대책을 강구할 수 있다.
- (11) 터널 내 용출수가 중앙배수관 및 측방배수관과 같은 배수시설을 통하여 원활히 배수될 수 있도록 통수단면적을 확보하여야 한다.
- (12) 인화성 또는 유독성 유체가 배수관으로 유입되지 않도록 터널의 배수시스템을 설계하여야 한다.
- (13) 인버트 단면에서의 주배수관의 위치는 다음<표 1>을 참고하여 설계할 수 있다.



표 1. 터널의 방수 등급별 허용누수량

	중앙집중 배수방식	측벽하부 배수방식
개요도		
장점	• 단면의 형상이 응력적으로 유리한 형상이다. • 배수가 용이하다.	• 배수구의 청소가 용이하다. • 용수에 저항성이 있는 견고한 지반에 유리하다.
단점	• 배수구의 청소가 불편하다. • 측벽으로부터 중앙하부로 도수하기가 불편하다.	• 측벽하부 터파기가 깊게 되어 응력적으로 불리한 형상이 된다. • 배수에 어려움이 있다.

2. 비배수형 방수형식 터널

2.1 비배수형 방수형식 터널의 특징

배수형 방수형식 터널을 시공하게 되면 유지관리비의 증가, 지하수위의 변화, 지반 조건에 따른 지반변위 및 시설물의 손상 등이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 발생 시키지 않기 위해서는 비배수형 방수형식 터널을 시공하여야 한다. 비배수형 방수형식 터널은 지하수를 보존하여 지하수위 변동에 따른 제반 문제점들을 예방할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 콘크리트라이닝이 지하수위에 해당하는 지하수 수압에 견디도록 시공하여야 하기 때문에 터널형상에 불필요한 공간을 갖게 되는 경우가 많고, 콘크리트라이닝의 부재 단면도 두꺼워져 초기 투자비가 배수형 방수형식 터널에 비해 크게 증가하게 된다.

비배수형 터널의 방수형식으로는 콘크리트라이닝으로 하여금 방수기능을 감당하도록 하는 쉴드터널의 세그먼트 방수형식과 콘크리트라이닝과 숏크리트 사이에 방수막을 설치하여 방수하도록 하는 방수막 방수형식으로 크게 나눌 수 있다. 세그먼트 방수형식은 가스켓에 의한 지수와 세그먼트 자체의 수밀성 및 주입공의 폐색 등에 의해, 방수막 형식인 경우에는 방수막의 시공상태에 따라 방수능력이 크게 좌우되게 된다. 방수막 형식의 비배수형 방수형식 터널에서는 방수시공이 폐쇄된 협소한 공간에서 이루어지기 때문에 방수막 시공 상의 결함요인이 많고 철근 조립 시 방수막이 손상되기 쉽다. 이렇게 방수막이 손상되거나 이음이 완벽하지 못하게 되면 방수기능을 상실하게 되어 누수문제를 피하기 어렵고, 이 문제를 해결하기 위해 배수형 방수형식 터널로 전환하는 경우가 발생할 수 있다.

2.2 비배수형 방수형식 터널의 적용조건

비배수형 방수형식 터널은 지하수위에 해당하는 수압이 콘크리트라이닝에 작용하는 것으로 간주하여 설계하여야 한다. 일반적으로 다음의 경우에는 비배수형 방수형식 터널을 적용하는 것이 바람직하다.

- (1) 터널 시공으로 인해 발생하는 지하수위 저하로 인하여 터널주위의 지반에 침하가 발생하고, 인근 시설물에 영향을 미쳐 사회적 또는 경제적인 손실이 발생할 우려가 있거나 식생의 고사 또는 지하수원의 고갈방지 등의 목적으로 지하수위를 보존하여야 하는 경우에는 비배수형 방수형식 터널을 적용하여야 한다.
- (2) 배수형 방수형식 터널을 적용할 조건이라 할지라도 지하수 유입을 차수그라우팅으로 효과적으로 감소시킬 수 없는 경우, 또는 배수계통 기능유지가 현실적으로 불가능한 경우에는 비배수형 방수형식 터널을 적용하여 터널 수명기간 동안 발생할 수 있는 문제를 사전에 제거하는 것이 바람직하다.



- (3) 비배수형 방수형식 터널은 방수기술 상의 제한 때문에 작용하는 수압이 0.6MPa 이하인 경우에만 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 방수기술이 발전하게 되면 더 높은 지하수 수압이 작용하는 경우에도 비배수형 방수형식 터널의 건설이 가능하게 되므로 향후 상향 조정될 수 있다. 다시 말하면 지하수 수압이 큰 경우에는 배수형방수형식 터널을 채택하여야 한다. 이 경우 유입되는 지하수가 많게 되면 차수그라우팅 등을 적용하여 적극적으로 유입량을 줄여야 한다.
- (4) 운용 중에 발생 가능한 내부 용수 및 지하수 허용 누수량을 감안하여 터널 바닥부에 종방향 배수로를 설치하여야 한다.

2.3 비배수형 방수형식 터널의 세부사항

- (1) 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이의 터널 전주면을 방수막으로 감싸야 한다. 이때 방수막의 보호를 위해 숏크리트와 방수막 사이에는 부직포 등의 배수재를 설치하여야 한다.
- (2) 방수막의 기본적인 구비조건은 다음과 같다.
 - ① 내구성, 내수성, 내약품성(내알칼리, 내산성 등)이 있고 연소 시 유해가스의 발생량이 적어야 한다.
 - ② 소요의 기계적 강도, 연성 및 유연성이 있고 이음부의 강도와 지수성을 유지할 수 있어야 한다.
 - ③ 시공성이 좋고 내한성이 있어야 한다.
 - ④ 방수막은 일반적으로 합성수지 계통의 막을 사용하여 두께 2mm 이상의 것을 표준으로 하여야 한다.
- (3) 비배수형 방수형식 터널에서는 대부분 콘크리트라이닝을 철근 콘크리트로 시공하게 됨으로 철근의 이음부에는 방수막을 보호할 수 있는 조치를 취하여 시공 시 방수막이 파손되지 않도록 하여야 한다. 이 경우 이 부분에 보호막을 덧붙여 주는 것이 바람직하다.
- (4) 비배수형 방수형식 터널의 콘크리트라이닝 시공 중 방수막 배면의 배수시스템을 유지하여야 콘크리트라이닝 두께를 확보할 수 있다. 또한, 비배수형 방수형식 터널의 경우 방수막뿐만아니라 콘크리트라이닝 자체로서도 방수기능을 감당하도록 하여야 한다. 즉, 방수막과 콘크리트라이닝이 모두 방수기능을 발휘할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서는 콘크리트라이닝을 수밀 콘크리트로 시공하도록 하여야 하며 콘크리트라이닝의 시공이음부 및 수축, 팽창 이음부에는 반드시 지수판을 설치하도록 하여야 한다. <그림 6>은 이러한 지수판의 설치 사례를 보여주고 있다.
- (5) 터널에서 발생하는 누수('해설 5. 허용누수량' 참조)를 집수하여 배수하는 누수집수관(<그림 7> 참조)을 설치하여야 한다.

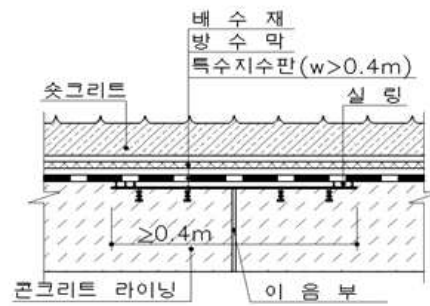


그림 6. 지수판 설치 개념도

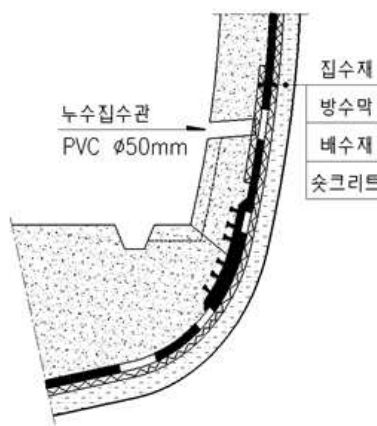


그림 7. 누수집수관 설치 개념도

3. 배수형 방수형식 터널과 비배수형 방수형식 터널의 비교

터널 설계 및 시공 시 지하수의 흐름을 예측하기 위해서는 지반조건에 따라 지하수 흐름이 어떻게 변하게 되는 지를 이해하는 것이 필요하며, 이로부터 터널의 배수형 방수형식이 지하수 흐름에 어떻게 영향을 미칠 수 있는지를 이해하는 것이 필요하다. 장기적인 지하수 처리 대책으로서, 배수형 방수형식 터널과 비배수형 방수형식 터널의 특징을 요약하면 <표 2>와 같다.



표 2. 터널의 배수형 방수형식별 특징 비교

구 분	배수형 방수형식 터널	비배수형 방수형식 터널
형 식	• 부분배수형 방수형식 : 방수막을 터널 천장부와 측벽부에 설치하고 용출수를 배수층을 통하여 터널 내부로 유도하여 배수 처리	• 터널 전굴착면에 방수막을 설치하여 터널 내부로의 지하수의 유입을 차단
	• 외부배수형 방수형식 : 방수막으로 콘크리트라이닝 진주면을 둘러싸고 인버트의 방수막 밖에 배수구를 설치하여 배수	
장 점	• 수압을 고려하지 않으므로 구조적으로 얇은 무근 콘크리트라이닝도 가능 • 특수 대단면 시공이 가능 • 누수 시 보수가 용이 • 시공비가 적게 소요	• 지하수 처리에 따른 유지비가 감소 • 지하수위 변화가 없으므로 주변환경에 영향을 주지 않음
단 점	• 자연배수가 불가능한 경우에 유지비가 고가 • 지하수위 저하로 주변 지반 침하와 지하수 이용에 문제 발생가능	• 시공비가 고가 • 특수 대단면 또는 대심도에서는 적용이 곤란 • 누수가 발생하면 보수비가 많이 들고 완전보수가 어려움 • 콘크리트라이닝의 두께가 커지고 경우에 따라 철근 보강 필요
적 용	• 지반조건이 양호한 곳 • 주변 구조물에 영향이 없는 곳 • 지하수 용출수량이 적은 곳	• 지하수의 공급이 많은 곳 • 지하수의 저하에 의한 영향이 많은 곳

해설 3. 개착식터널의 방수

1. 개착식터널의 방수 개념

개착식터널에서의 방수와 배수 설계 시에는 NATM 개념의 터널공법의 경우에 비해 다음의 두 가지 사항을 별도로 고려하여야 한다. 첫째 인버트부를 제외한 터널주변의 지반이 완전히 교란된 지반이기 때문에 지하수 흐름에 대한 토사 유송 현상 등의 반응이 자연 지반의 그것과는 다르다는 점이다. 그리고, 둘째는 NATM 개념의 터널공법에서는 부직포 또는 드레인보드 등의 배수재가 숏크리트면과 방수막 사이에 설치되는 반면 개착식 터널에서는 대부분 방수재 또는 배수재가 매립토사와 직접 접하게 된다는 점이다.

물론 이것들과 되메움 토사와의 직접적인 접촉상태를 방지할 수는 있겠지만 숏크리트 혹은 모르타르 등과 같은 재질로 일정 두께 이상으로 모두 피복하지 않는 한 숏크리트면과 같은 조건의 접촉상태를 형성하기는 어렵다. 따라서 이러한 개착터널의 방수 및 배수개념에 있어서는 토사 유송에 의한 배수시설 기능저하 가능성에 대한 충분한 대책이 강구되지 않는 한 개착 박스구조물의 방수 및 배수개념에 준하여 실시하는 것이 바람직하다.

2. 개착터널의 방수 일반

갱구부에 위치하는 개착터널 설치구간의 경우 대부분 지하수위가 구조물 하단에 위치하고, 표면녹화 및 식재로 인해 표면수의 침투영향이 적으며, 양질의 토사쌓기 및 하단면 유공관 매설을 통해 비교적 배수가 원활하게 이뤄질 수 있는 조건이므로 갱구부의 개착터널 되메움부에 대하여 아스팔트 방수공법 등 소요의 방수기능을 만족하면서 경제성 확보가 가능한 공법을 적용하는 것이 바람직하다. 또한, 갱구부의 개착터널 외부 노출부가 아치형상인 경우 상부에 물이 고이지 않는 조건으로서 누수로 인한 사용성 저하 우려가 적으므로 미관, 유지관리 효율성 및 경제성을 고려하여 방수공법을 적용하지 않는다. 단, 갱구부 지하수위가 높은구간, 중간 개착터널부 및 지하수 용출 등 현장여건상 배수조건이 불리한 구간 및 지표수 배수처리가 불리한 구간에서는 시트방수공법을 적용할 수 있다.

3. 굴착터널과의 접속부 방수

굴착터널과 개착터널 연결부(2.0m 구간)는 누수에 취약하므로 시트방수를 적용하고, 시트방수-아스팔트 방수 접속부는 겹침 이음길이를 확보하여 누수에 의한 구조물의 열화를 방지하여야 한다. 특히, 개착터널과 굴착터널(통상 NATM 개념의 터널공법)은 방수형식이 서로 상이하므로 연결부에서 누수가 발생하지 않도록 하는 세밀



한 설계가 필요하다.

아스팔트 코팅부와 방수막의 경계는 이음부를 0.5m 이상 확보하여 콘크리트면과 밀착 시공하여 누수가 발생하지 않아야 한다. 콘크리트라이닝간의 시공이음부에는 지수판을 설치하고 누수 유도 배수시설을 갖추도록 하여야 한다. 지수판의 재질 및 시공은 다음과 같다.

- (1) 지수판 이음부 연결 용접방법은 용접봉의 재질, 신축율, 인장강도 등을 고려, 누수가 되지 않도록 시공하여야 한다.
- (2) 지수판은 설계도서에 명시된 위치에 비틀림이나 구부러짐이 없도록 설치하여야 한다.
- (3) 지수판이 콘크리트에 묻힐 때는 표면에 기름, 구리스, 건조한 모르타르 등이 묻지 않도록 하여야 하며, 지수판의 모든 부분은 치밀하게 콘크리트로 채워져 단단히 유지되도록 하여야 한다.

굴착터널과 개착터널 구조물간 연결부 방수개념의 실례는 <그림 8>과 같다.

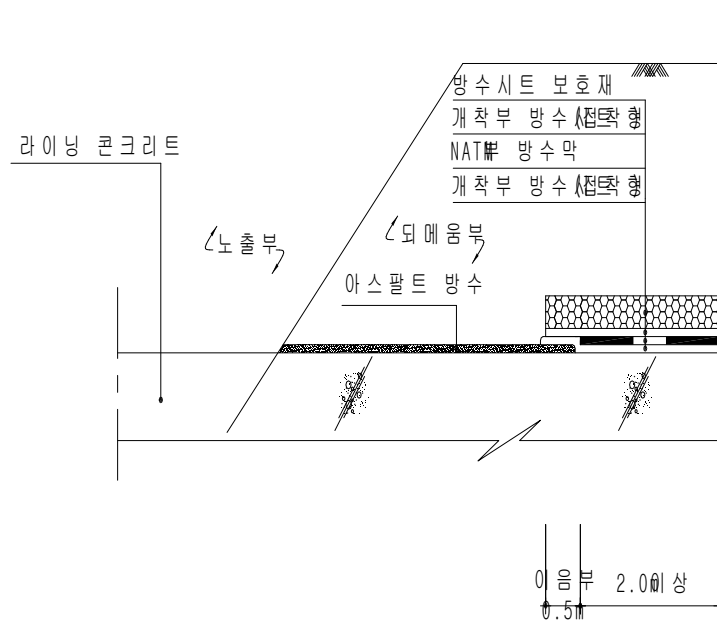


그림 8. 굴착터널과 개착터널 연결부 방수(예)

4. 폼타이 볼트 설치 및 방수

폼타이 볼트는 강봉 사용에 따른 부착강도 증진 및 침강균열을 방지할 수 있는 이형 강봉 등의 재료를 사용하여야 하며, 방수를 위해 수팽창 고무지수링 등의 사용을 검토하여 시공하여야 한다. 시공시 강봉 하단부에 공극이 발생하지 않도록 밀실하게 시공 하여야 하며 콘크리트가 충분히 양생한 후 폼타이 볼트를 해체하여야 한다.

해설 4. 시공 및 신축이음부의 방수

현재 국내에서 시공되고 있는 터널구조물의 라이닝 공사 시행시에 시공이음부 및 신축이음부에서의 누수방지를 위해서 필요시 지수판과 수팽창지수제 등을 설치하여 누수에 대한 대책을 강구하여야 한다. 특히 지수판 연결, 부착방법 및 공동구 연결배수관 설치시에는 누수가 발생하지 않도록 하는 세밀한 품질관리가 필요하다. 이를 위해서는 시공 및 신축이음부의 지수판을 구분하여 적용토록하고 충분한 겹침이음 길이를 확보하여 접합부 결함 및 열융착에 의한 방수막 손상이 발생되지 않도록 방수접착제를 바르고 접착하여야 한다. 지수판의 재질 및 시공 품질관리는 다음과 같이 한다.

- (1) 지수판 이음부 연결 용접방법은 용접봉의 재질, 신축율, 인장강도 등을 고려, 누수가 되지 않도록 시공하여야 한다.
- (2) 지수판은 설계도서에 명시된 위치에 비틀림이나 구부리짐이 없도록 설치하여야 한다.
- (3) 신축이음부는 지수판의 신축이음재(Joint Filler)가 반드시 일치하게 설치하여 편심시공을 방지하여야 한다.
- (4) 시공이음부는 지수판의 중앙부분이 구조물의 정중앙에 위치하도록 설치하여 편심시공을 방지하여야 한다.
- (5) 지수판이 콘크리트에 묻힐 때(Internal Waterstop)는 표면에 기름, 구리스, 건조한 모르타르 등이 묻지 않도록 하여야 하며, 지수판의 모든 부분은 치밀하게 콘크리트로 채워져 단단히 유지되도록 다짐관리를 하여야 한다.
- (6) 지수판이 콘크리트 외벽에 설치되는 경우(External Waterstop)는 특성상 방수막에 접합되므로 방수막 손상방지와 접합부위 품질관리를 하여야 한다.
- (7) 지수판은 가능한 가장 긴 길이로 설치하고 이음부분을 최소화하여야 한다.



해설 5. 허용누수량

지하수위 하부에 터널을 건설하는 경우 현존하는 방수기술을 고려할 때, 완벽한 방수를 한다는 것은 거의 불가능하다고 보아야 한다. 이 분야에 대해서 우리나라보다 먼저 고민해 온 독일이나 영국 등의 선진국에서는 터널의 용도에 따라 요구되는 방수 등급을 정하고 각 등급별로 허용될 수 있는 누수량을 설정해 관리하고 있다.

이러한 허용누수량 문제는 방수형식에 관계없이 동일하게 터널 내부의 조건을 어떻게 유지하여야 할 것인가를 전제로 하여 결정되어야 한다.

이를 위하여 우리여건에 맞는 우리의 기준이 없기 때문에 독일의 지하교통시설연구협회(STUVA)가 추천한 허용누수량(<표 3> 참조)보다 다소 크게 하여, 우리 실정에 맞도록 발주자가 정하도록 ‘철도설계기준’(2011)에서 제시하고 있다. 따라서 본 해설에서 다루고 있는 터널은 철도터널로서 방수 2등급 또는 3등급에 해당되므로 <표 3>의 방수 2, 3등급에서 제안한 값들의 2~5배에 해당되는 값을 허용누수량으로 적용할 것을 제안한다.

표 3. 터널의 방수 등급별 허용누수량

방수 등급	내부상태	용 도	내부상태 정의	터널연장을 기준한 허용누수량 ($\ell/m^2/day$)	
				10m	100m
1	완전 건조	주거공간, 저장실, 작업실	벽면에 수분의 얼룩이 검출되지 않을 정도의 누수상태	0.02	0.01
2	거의 건조	동결위험이 있는 교통터널, 정거장 터널	벽면의 국부적인 장소에 약간의 수분얼룩이 검출될 수 있는 정도, 수분의 얼룩을 건조한 손으로 접촉하여도 손에 물이 묻지 않을 정도, 흡수지 또는 신문지를 붙여보아도 붙여진 부분이 습기로 인해 변색되지 않을 정도의 누수	0.1	0.05
3	모관 습윤	방수 2등급 이상의 방수가 요구되지 않는 교통터널구간	벽면의 국부적인 장소에 수분얼룩이 검출되는 정도, 수분의 얼룩에 흡수지 또는 신문지를 붙였을 경우 습기로 인해 변색되지만 수분이 방울져 떨어지지 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 방울져 흐르는 정도	1.0	0.5

1) 독일의 지하교통시설 연구협회(STUVA)의 추천값을 참조한 것임

해설 6. 다중아치터널 방수

1. 다중아치터널의 방수개념

다중아치터널(터널사이에 중앙기둥을 두는 2-아치터널 또는 2-아치 이상의 형태를 갖는 터널)은 중앙벽체 상부의 배수불량으로 인해 누수가 발생하는 사례가 발견되고 있으며 누수 발생시 내부시설물의 유지관리 및 미관을 저해하게 되므로 누수를 적극 방지하여야 한다. 아치터널에 대한 주요 누수 원인은 다음과 같다.

- (1) 중앙벽체 상부 콘크리트 타설시 콘크리트 채움이 불량하여 배면공극 발생
- (2) 중앙터널 시공 후 좌·우측 터널 굴착시 발파로 인한 방수막 파손
- (3) 중앙터널 아치부 강지보 제거시 산소용접기 절단으로 열전도로 인해 방수막이 녹는 현상 발생
- (4) 중앙터널 상부 유공관 및 집수정 연결관(Ø100) 관경협소로 인한 배수불량
- (5) 유도배수 반할관과 라이닝 벽체의 틈새를 통한 누수 발생
- (6) 유도배수 반할관과 배수유도공의 접속부를 통한 누수 발생
- (7) 배수유도공 간격이 클 경우 배수가 원활하지 못하게 되어 유도배수 반할관에 백태 등에 의한 막힘 발생

이와 같은 다중아치터널(터널사이에 중앙기둥을 두는 2-아치터널 또는 2-아치 이상의 형태를 갖는 터널)의 누수 원인을 사전검토 및 개선하여 누수가 최소화될 수 있도록 설계 반영하여야 하며 특히, 다중아치터널(터널사이에 중앙기둥을 두는 2-아치터널 또는 2-아치 이상의 형태를 갖는 터널) 방수막의 시공성과 배수공의 유지관리 효율성이 확보될 수 있도록 설계시 고려하여야 한다.

2. 다중아치터널 방수설계와 시공시 고려사항

터널단면은 단일원형모양에 가까울수록 구조적으로 안정된다. 다중아치터널(터널사이에 중앙기둥을 두는 2-아치터널 또는 2-아치 이상의 형태를 갖는 터널)은 2개 터널 이상 접하는 형상으로써 중앙벽체에 응력이 집중하게 된다. 또한 터널굴착시 시차를 두어 시공하게 됨으로써 간섭효과가 크게 나타나고, 중앙벽체의 누수가 발생할 가능성이 높다. 이들에 대한 대응책은 다음과 같다.

- (1) 시공성 및 안정성을 위해 중앙터널과 좌우터널을 서로 엇갈리게 굴착하되 상반 막장간 충분히 이격되도록 시공계획을 수립하여 시행한다.
- (2) 지반조건이 양호할 경우 1.0m 이상의 굴진장을 채택할 수 있으나 발파로 인해 인접터널이 영향을 받을 수 있으므로(인접터널의 막장면에서의 암반이완 등) 굴진장을 1.0m이하로 제한하는 것이 바람직하다(인접터널에 대한 영향이 미치지 않고 안전이 보장된 경우에는 굴진장을 증가시킬 수 있다).



- (3) 발파굴착시 발파진동의 영향으로부터 인접터널을 보호하기 위해 제어발파공법(스무스블라스팅, 라인드릴링 공법 등)을 적용한다.
- (4) 방수막 연결부 인접부 시공시에는 방수막에 손상이 가해지지 않도록 각별히 유의하여 시공한다.
- (5) 좌우측 터널 발파 후 중앙터널 방수막 파손현상 방지를 위해 가능한 인력으로 면정리를 하여야 한다.
- (6) 중앙기둥과 양측터널의 콘크리트라이닝 철근이음시 방수막이 손상되지 않도록 하여야 한다.
- (7) 반할관내 동해방지를 위한 보온대책을 수립하여야 한다.

3. 다중아치터널 누수대책

다중아치터널(터널사이에 중앙기둥을 두는 2-아치터널 또는 2-아치 이상의 형태를 갖는 터널)은 중앙벽체 상부의 배면공극을 통해 유입되는 물이 누수되는 문제가 발생하므로 배면공극에 그라우팅을 실시하여 공극을 없애는 방법이 가장 근본적인 해결책일 것이다. 그라우팅 후에도 일부 유입되는 물에 대해서는 완벽히 차수하거나 배수하여 구조물에 접촉하지 않도록 시공단계별로 다음과 같은 조치를 취하여야 한다.

- (1) 다중아치터널(터널사이에 중앙기둥을 두는 2-아치터널 또는 2-아치 이상의 형태를 갖는 터널)은 단계별 발파를 수행하는 과정에서 방수막이 파손될 우려가 있으므로 중앙터널 시공 후 좌·우측 터널 굴착시 발파로 인한 방수막 파손을 막기 위하여 보호재를 설치하여야 한다. 이때 보호재는 굴착면에 설치가 용이하며 방수막 보호 및 절곡이 용이한 재질(철판 등)을 사용하여야 한다.
- (2) 중앙터널 아치부 강지보를 편리하게 제거할 수 있도록 볼트 등으로 연결될 수 있는 연결부를 설치하여 산소용접기 등의 사용으로 인한 방수막 훼손을 방지하여야 한다.

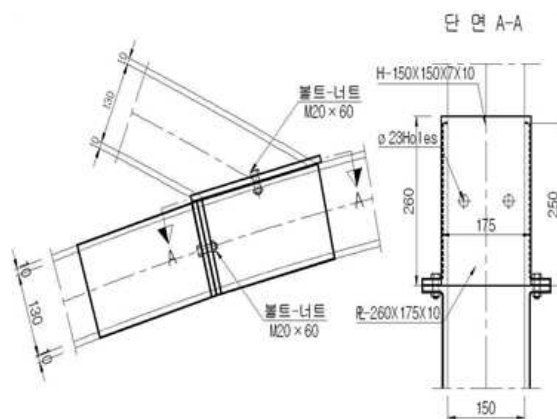


그림 9. 중앙터널 아치부 강지보 연결부 상세(예)

- (3) 중앙터널 상부유공관 및 집수정 연결관은 장기간 사용시 막힘 등이 발생할 수 있으므로 관경 150mm 이상의 연결관을 설치하여 배수가 원활토록 하여야 한다. 단, 현장의 유출지하수량을 고려하여 사전에 감독 승인하에 관재질 및 관경 등을 변경할 수 있으며, 지하수 유출량이 과다할 경우에는 별도의 차수대책을 수립하여야 한다.
- (4) 중앙 아치기둥과 본선 라이닝 접속부 구간의 방수막 설치시 복합지수판 설치나 최소 50cm 이상의 방수막 겹이음 시공 등의 추가적인 방수대책을 수립하여야 한다.
- (5) 유도배수 반할관과 콘크리트라이닝 벽체의 틈새를 통한 누수를 방지하기 위하여 물끊기홈을 설치하여 이를 방지하여야 한다.
- (6) 유도배수 반할관과 배수유도공의 접속시 완전한 밀착이 안될 경우 틈새를 통한 누수가 발생할 수 있으므로 연결구 BOX를 설치하여 완전히 밀착시킴으로써 누수 발생을 억제하여야 한다.
- (7) 유도배수 반할관 내에 물이 고여 있는 시간을 줄여 백태 등으로 인한 막힘을 줄이기 위해서 배수유도공을 적절한 간격으로 설치하여야 한다.



해설 7. 한랭지 터널 동상방지 설계

한랭지 터널의 동상 피해를 효과적으로 저감하기 위하여 기후조건, 지형조건 및 갱구 내·외 환경을 종합적으로 고려한 단계별 설계 절차와 기준을 규정하였다. 본 기준은 동상 발생 가능성을 사전에 평가하고, 터널 위치 및 조건별로 합리적인 동상방지 대책을 적용함으로써 구조적 안정성과 장기 내구성을 확보하는 것을 목적으로 한다.

먼저, 동상 피해가 발생하거나 발생 우려가 있는 터널을 한랭지 터널로 정의하고, 동상 피해 저감을 위한 한랭지 터널은 일반 터널에 비해 단면이 확대되거나 구조 형상이 복잡해지고, 특수한 구조 요소가 포함되는 경우가 많다. 따라서 시공성, 경제성 및 유지관리 측면을 종합적으로 고려하여 계획하여야 하며, 터널의 기능 및 지반 조건을 충분히 검토하여 터널 구조물과 주변 지반의 안정성이 확보되도록 설계하여야 한다.

1. 한랭지 터널의 선정 기준

(1) 터널 계획 시 동결이 우려되는 구간에 대해서는 최저기온, 동결지수 및 유입 풍속 등의 기후 조건을 고려하여야 한다. 특히 터널 내에서 동결이 장기간 지속되거나 배수 불량 등으로 수분이 정체되는 경우에는 동상 발생이 촉진될 수 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다. 이에 따라 터널 계획 단계에서 동결 발생 가능성을 정량적으로 평가하기 위하여 1월 평균기온 또는 수정동결지수를 기준으로 한랭지역을 정의하고, 해당 기준을 만족하는 경우에는 한랭지 터널로 분류하여 동상방지 설계를 적용하도록 한다.

- ① 수정동결지수가 $700^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$ 이상일 것
- ② 1월 평균기온이 -4.7°C 이하 일 것

(2) 동결지수($^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$)는 기온이 0°C 이하로 유지된 모든 시간에 대한 누적값으로, 영하 기온의 지속 기간과 강도를 동시에 반영할 수 있는 지표이다. 이는 단순한 최저기온 또는 월평균기온과 달리 동결의 누적 효과를 정량적으로 평가할 수 있다. 동결지수는 일반적으로 측후소에서 관측된 기후 자료를 기준으로 산정되나, 실제 터널 설계 지점과 측후소 간의 지반고 차이가 존재하므로 한랭지 터널 설계 시에는 고도 차이에 따른 영향을 보정한 수정동결지수를 적용하도록 한다.

- ① 동결지수는 측후소의 지반고를 기준으로 산정된 값이므로, 설계 대상 지역의 실제 지반고와의 차이를 고려하여 아래 식에 따라 산정하며, 이때 동결기간은 설계 구간과 가장 인접한 측후소에서 관측된 동결기간을 적용하도록 한다.

$$\text{수정동결지수}(C) = \text{동결지수} + 0.5 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}(m)}{100}$$

$$\text{표고차}(m) = \text{설계노선 최고표고}(m) - \text{측후소 지반고}(m)$$

(3) 한랭지 기후 환경은 토양의 동결심도, 극한 최저기온, 가장 추운 달의 평균기온, 강

설량과 그 계절적 분포, 일조시간, 풍향·풍속, 지역 동결지수 등 다양한 기후 요인의 영향을 받는다. 이러한 요인들은 터널과 주변 지반의 동결 거동에 직접적인 영향을 미치므로 설계 시 종합적으로 고려하여야 한다. 한랭지의 구분은 일반적으로 연평균 기온과 가장 추운 달의 평균기온을 기준으로 하며, 해외에서는 기온 조건에 따라 설계지역을 단계적으로 구분하여 적용하고 있다.

- ① 한랭지 터널의 선정 지표로 가장 추운 달의 평균기온을 적용하며, 연중 가장 추운 달인 1월의 평균기온을 기준으로 한다.
- ② <표 4> 은 20년 동결지수와 1월달 측후소별 평균기온을 나타내었다.

표 4. 20년 동결지수와 1월달 평균기온(2002~2021)

지역	측후소 지반고(m)	동결지수 (℃·일)	동결기간 (일)	1월 평균기온	지역	측후소 지반고(m)	동결지수 (℃·일)	동결기간 (일)	1월 평균기온
속초	17.6	102.1	46.5	0.13	합천	32.1	109.8	49.0	-0.2
대관령	842.0	697.0	121.5	-6.82	거창	224.9	188.7	67.5	-1.2
춘천	74.0	418.0	73.5	-4.23	영천	91.3	127.3	39.0	-0.3
강릉	26.0	85.2	31.0	1.0	구미	45.5	132.0	57.5	-0.3
서울	85.5	278.9	68.0	-2.0	의성	73.0	331.0	87.5	-2.9
인천	68.9	203.4	55.5	-1.4	영덕	40.5	72.6	29.5	1.1
원주	149.8	340.9	84.5	-2.9	문경	172.1	212.5	69.0	-1.7
울릉도	221.1	117.1	23.0	1.7	영주	208.0	246.8	79.5	-2.2
수원	36.9	272.4	66.0	-2.1	성 산 포 (2006년 까 지 만 자 료 존 재)	17.5	0	0	5.7
충주	69.4	350.4	88.5	-3.2	고흥	60.0	49.1	25.5	1.6
서산	26.4	195.7	55.0	-1.6	해남	22.1	58.8	31.0	1.1
울진	49.5	65.3	28.5	1.4	장흥	43.0	63.6	33.5	1.1
청주	59.0	201.6	62.5	-1.3	순 천 (2012년 부 터 자 료 존재)	74.0	117.4	40.5	0.4
대전	67.2	184.2	54.0	-0.9	남원	89.6	224.7	66.0	-1.3
추풍령	245.9	210.5	69.0	-1.8	정읍	40.5	138.7	61.0	-0.2
포항	2.5	57.6	27.0	2.2	임실	244.0	318.4	75.0	-2.5
군산	26.3	139.0	61.0	-0.2	부안	7.0	142.6	61.5	-0.2
대구	57.8	72.0	30.5	1.0	금산	170.7	283.7	74.5	-2.3
전주	51.2	95.8	46.0	0.1	부여	16.0	204.0	66.0	-1.6
울산	31.5	59.5	27.0	2.4	보령	15.1	141.6	61.5	-0.2
광주	73.9	82.5	38.0	1.1	아 산 (유	24.5	248.1	66.5	-2.4



지역	측후소 지반고(m)	동결지수 (℃·일)	동결기간 (일)	1월 평균기온	지역	측후소 지반고(m)	동결지수 (℃·일)	동결기간 (일)	1월 평균기온
					사값 천 안 으 로 대체)				
부산	69.2	53.2	5.0	3.5	보은	170.0	366.0	87.5	-2.9
통영	25.0	43.2	19.0	3.2	제천	264.4	489.9	89.5	-4.8
목포	36.5	51.6	20.0	1.6	홍천	141.0	464.3	89.0	-4.7
여수	67.0	52.5	4.0	2.8	인제	199.7	475.3	96.5	-4.6
완도	37.5	42.2	26.0	2.5	이천	68.5	356.7	69.5	-3.2
제주	22.0	0	0	6.1	양평	49.0	381.5	87.0	-3.2
남해	49.8	45.3	20.0	2.1	강화	46.4	355.2	68.0	-3.3
거제	41.5	39.3	4.0	2.8	진주	21.5	83.2	39.0	0.3
산청	141.8	72.3	31.5	0.4	서귀포	51.9	0	0	7.2
밀양	12.5	93.2	38.5	0.5	철원	154.9	522.6	81.0	-5.7
동해	40.0	67.8	42.0	1.3	봉화	320.0	401.9	91.0	-4.2
안동	140.0	203.4	60.5	-1.8	장수	406.0	337.4	87.0	-3.0
태백	713.0	501.5	111.0	-4.6					

② 기온 자료는 일반적으로 측후소 지반고를 기준으로 제공되므로, 설계지점과의 고도 차이에 따른 기온 보정이 필요하다. 고도 보정은 고도가 증가함에 따라 기온이 감소하는 특성을 고려하여 수행하며, 국내 설계 적용 시 기온감률은 0.0065 ℃/m(6.5 ℃/km)를 기본값으로 적용한다. 단, 지역·계절별 관측자료로부터 해당 구간의 기온감률을 산정할 수 있는 경우에는 그 값을 우선 적용할 수 있다.

$$T_d(t) = T_0(t) - \Gamma(H_d - H_0)$$

$T_d(t)$: 설계지점 보정온도(℃), $T_0(t)$: 측후소 관측기온(0℃)

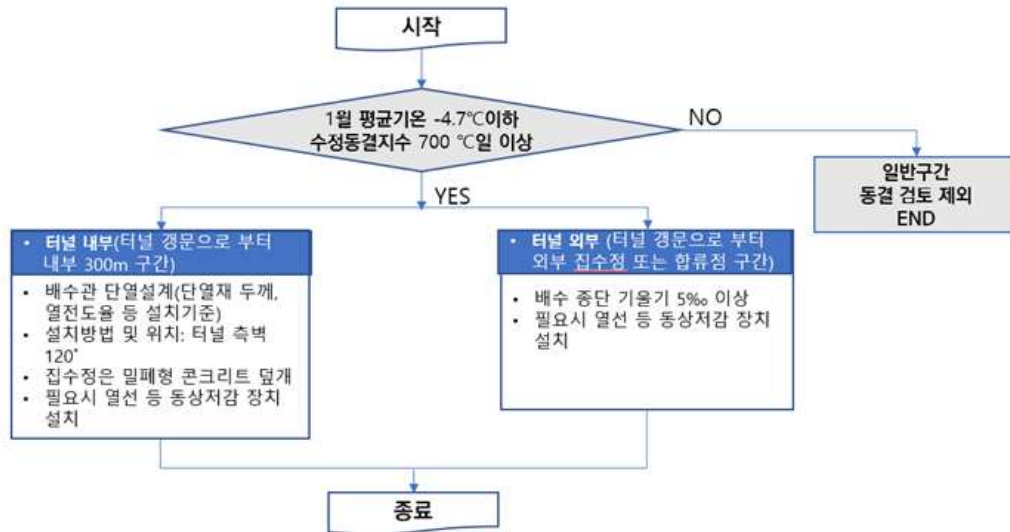
H_d : 설계지점 지반고(m), H_0 : 측후소 지반고(m)

Γ : 기온감률(℃/m), 기본값 0.0065

2. 한랭지 터널 설계 및 동상 방지 대책

(1) 한랭지 터널의 동상 방지 설계는 1월 평균 최저기온과 수정동결지수를 기준으로 한랭지 터널 해당 여부를 우선 판단하는 단계에서 시작한다. 1월 평균기온이 -4.7 ℃ 이하 또는 수정동결지수가 700 ℃·일 이상인 경우 한랭지 터널로 분류하여 동상 방지 설계를 적용한다. 반면, 해당 기준을 만족하지 않는 경우에는 일반 터널로 분류하여 동상 검토 대상에서 제외한다.

(2) 한랭지 터널의 흐름도는 <그림 10> 과 같다.



<그림 10> 한랭지 터널 동상 설계 흐름도

(3) 한랭지 터널 동상 저감 대책

- ① 한랭지 터널로 선정된 경우, 동상 저감 대책은 터널 내부 구간과 외부 구간으로 구분하여 적용한다.
- ② 터널 내부 구간은 갯문에서부터 300 m 범위를 대상으로 하며, 배수관 및 터널 벽면에 단열재를 설치하여 외부 냉기 유입과 결로 발생을 저감하도록 한다.
- ③ 터널 외부 구간은 배수구 및 배수관 내 흐름 정체가 발생하지 않도록 하여야 하며 배수 흐름이 연속적으로 유지되도록 배수 중단기울기를 계획한다.
- ④ 상기의 동상 방지 대책 적용에도 불구하고 동상 피해가 우려되는 경우, 전이부 및 배수 정체구간 등 동상발생 가능성이 높은 구간에 열선 설치 또는 보조 가열 대책을 국부적으로 추가 적용할 수 있다. 이때, 상시 가열은 지양하며 유지관리 부담과 에너지 소비를 고려하여 최소 범위 내에서 계획하도록 한다.



RECORD HISTORY

- Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는 데 목적을 둠.
- Rev.1('13.2.22) 다중 아치터널의 굴착과 콘크리트 구조물 시공중에 발생하는 방수막 손상과 배수처리 미흡 등으로 라이닝콘크리트 시공 후 나타나는 누수현상 방지를 위한 공법개선 조항 신설
- <참고자료>
- 창의혁신과제(NO. H211_03139, '10.11.4 승인)
 - 수도권고속철도(수서~평택) 제5공구 동탄정거장 설계자료
 - 도시철도기술자료집(2004) 3. 터널
- Rev.2('17.3.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(THP관 명칭 수정)을 반영
- Rev.3('20.06.10) “철도 터널설계 선진화 용역” 성과를 반영하여 터널내 유입수 처리계획, 갱구부 동결대책, 집수정 및 횡방향 연결관 설치기준 제시
- Rev.4('22.12.12) 유공관 주변 채움재의 고강성 재료 사용 조항 추가 및 터널배수단면 개선 반영(기준심사처-4755, '22.12.12)
- Rev.5('24.06.04) 상위기준(KDS 등)과 체계일치, 현행화 등 시행을 위한 건설기준 고도화 용역 검토사항 등을 반영한 KR CODE 체계 개편 및 개정(심사기준처-715호, '24.06.04)
- Rev.6('26.08.13) “철도시설 안전성 제고를 위한 표면배수시설 기준개정 및 친환경 사면보호공법 개발 연구용역” 성과를 반영하여 한랭지 터널의 선정기준과 터널 외부의 동결대책 및 상세 해설기준 제시(심사기준처-3342, '26. 8. 12.)