

터널의 보수 및 보강(I)[※]



김동규
한국건설기술연구원
국토지반연구부
선임연구원



정호섭
한국건설기술연구원
국토지반연구부
선임연구원

1. 개요

장래에는 노후화된 터널이 증가하고 터널의 유지관리비가 점점 증가할 것으로 예상되지만, 제한된 예산으로 효율적인 유지관리를 실시하기 위해서는 보수공사 시기를 적절하게 선정하여야 하며, 보수 및 보강비용의 최소화 등의 장기적인 관점에 입각하여 유지관리를 수행하는 것이 필요하다. 그러기 위해서는 여러 가지 보수 및 보강공법과 적용시기를 지역경제와 교통에의 영향을 고려하여 선택하는 방법을 확립하는 것이 필요하며, 장래에는 터널의 건전도를 객관적으로 평가하고 장기적인 건전도의 예측을 실시함에 따라 터널의 유지관리에 필요한 비용 및 전체 생애주기비용(Life Cycle Cost)을 고려한 보수 및 보강을 수행하여야 한다.

산악 터널에 있어서는 콘크리트라이닝의 열화, 터널 구조물이 지압, 수압 등의 외력에 의하여 허용치 이상으로 변형하여 건축한계와 노면 및 궤도의 평탄성에 지장을 주거나 누수와 박락 등이 일어날 경우와 지반활동 등 불확정적인 요소에 의하여 변상이 발생하는 경우도 있다. 이러한 터널에 발생하는 변상에 대하여 점검과 조사

를 수행하여 이것을 근거로 보수와 보강 대책이 수행되어야 할 것이다. 산악 터널에서 보수 및 보강업무를 실시하는데 있어서는 콘크리트라이닝 구조종류별로 점검, 조사 및 대책을 수립할 필요가 있다.

콘크리트라이닝 구조는 굴착 및 시공법에 따라 재래식 콘크리트라이닝 터널(널말뚝공법)과 NATM터널(표준공법)로 구별할 수 있고, 대략 1980년대 중반 이전에 시공된 터널은 재래식 콘크리트라이닝 터널공법이고 그 이후는 현재의 NATM터널로 구별할 수 있다. 또한 사용된 라이닝의 재료는 시대에 따라 변천하고 있으며 오래된 순으로 보면 무(無)콘크리트라이닝, 돌쌓기, 벽돌쌓기, 콘크리트 블록쌓기, 현장타설 콘크리트(콘크리트라이닝·철근콘크리트라이닝)이며, 일부의 경우에는 슛크리트로 마감한 터널도 있다.

현재의 콘크리트 터널 라이닝은 현장타설 콘크리트로 시공되고 있으며, 기타 공법에 의한 콘크리트라이닝 구조는 전단면 콘크리트라이닝(표준공법 및 널말뚝공법의 전단면 굴착의 경우), Bottom-up Construction Method(널말뚝 공법의 측벽도강 선진공법의 경우), Top-down Construction Method(널말뚝 공법의 상

※ 원저자 및 출처 : 猪熊明, 현장 기술자를 위한 터널 유지관리 실태, 산해당, 2004

반 선진공법, 저설도갱 선진상반 공법의 경우)로 분류할 수 있다. 터널의 보수 및 보강공법은 이와 같은 굴착공법과 콘크리트라이닝 구축방법의 차이를 바탕으로 선정 한 후, 안전하며 합리적인 대책을 제시할 필요가 있다.

대책공사의 계획에 있어서는 조사 및 원인추정으로부 터 변상의 평가와 터널의 중요도를 종합평가하고 각종 변상에 따른 터널구조물의 저하된 기능과 내구성을 회복시키기 위하여 최적의 방법을 검토할 필요가 있다.

변상에 대한 보수 및 보강공법의 목적은 각종 용도의 터널에서 요구되는 기능을 회복하고 변상과 열화 때문에 저하한 역학적인 내하력과 내구성을 회복, 향상시키는 것이다. 일반적으로 변상 보수 및 보강공법은 기능에 불편함이 생기는 경우와 발생가능성이 예상되는 경우에 수행한다.

변상터널의 대책은 변상현상을 조사하여 그 원인을 명확하게 하고 그 원인을 제거하는 것을 기본으로 하고 있지만, 원인을 제거하는 것이 불가능한 경우에는 터널 구조물 자체를 보강하여 내하력을 증가시키고 변상원인에 대처할 필요가 있다.

따라서 보수 및 보강공법은 변상원인을 제거하는 공법과 터널구조물의 내하력을 향상시키는 공법으로 분류되지만, 일반적으로 변상원인을 모두 제거하는 것은 비합리적인 것이 많으므로 보강에 의한 내하력을 향상시키는 공법과 두 가지 방법을 병행하여 실시하는 경우가 일반적이다. 또한 터널은 다른 구조물과 비교하였을 때, 공사과정에서 작업상의 제약이 많기 때문에 변상의 상황, 시공조건, 시공성 및 경제성 등을 종합적으로 판단하여 보수 및 보강공법을 선정할 필요가 있다.

구체적인 보수와 보강공법의 선정에 있어서는 변상의 정도 및 원인을 추정한 후 각 기관과 각 사업자가 정한 매뉴얼과 지침을 기본으로 건전도 판정을 하여 보수 및 보강공법을 계획하고 설계를 한다.

우선 점검시에 있어서 차량의 통행에 지장을 미치는 상황이라면 교통규제와 낙하물 제거와 같은 응급조치를 실시하고 방호그물과 용수처리 등의 응급보수 및 보강

을 수행한다.

누수와 콘크리트 파편(박리 또는 박락)은 터널구조물의 안정성에 직접적으로 영향을 주지 않지만 통행차량의 안전주행에 지장을 주기 때문에 그 요인을 제거하기 위하여 보수공사를 수행한다. 미관상 문제가 있는 경우와 장래의 보수작업을 경감하기 위하여 예방적으로 보수공사를 실시하는 경우도 있다.

토압과 수압의 증가 혹은 지진과 근접공사의 영향으로 변상이 발생하여 터널구조의 내하력 저하를 억제 또는 향상시킬 필요가 있는 경우에도 보강공사를 수행한다. 특히 터널의 전단면 혹은 아치, 측벽부에 재료열화가 광범위하게 발생하여 콘크리트라이닝으로서의 기능을 수행하지 못하고, 경미한 보수 및 보강공법으로 처리할 수 없는 경우에는 개축을 실시할 수 있다.

보수공법은 보강공사의 사전조치로 되는 경우도 있으며 보수공사의 선택에 있어서는 보수공사 단독인지 아니면 보강공사와 조합시킬 것 인지는 변상의 정도와 각 대책공사의 시공범위, 시공시기 및 기간 등의 시공조건을 고려하여 계획할 필요가 있다. 또한 보수공사의 경우는 시공후의 점검과 감시를 계속하여 실시할 필요가 있다. 보수공법에는 열화된 콘크리트라이닝의 대책공법, 박리대책공법, 누수대책공법, 동해대책공법 등을 들 수 있다.

보강공법은 변상원인별로 살펴보면 느슨한 토압, 편압, 소성압 등의 토압에 관한 대책, 용수와 동상압 등 수압에 관한 대책, 침하에 관한 대책, 근접시공에 따른 보강대책 등으로 구분할 수 있다. 개축공법에는 부분개축과 전면개축이 있으며 단면을 확대하여 개축하는 경우와, 단면은 그대로 유지하면서 기존 콘크리트라이닝과 지보재를 제거하고 NATM으로 시공하는 경우가 있다. 또한 시공방법으로는 교통흐름을 유지한 상태에서 내부로부터 개축하는 방법과 외부로부터 개축하는 방법, 교통흐름을 차단한 상태에서 개축하는 방법, 완전히 새로운 터널을 평행하게 신축하는 방법이 있다.

이러한 방법의 계획에 있어서 변상상황 이외에도 터

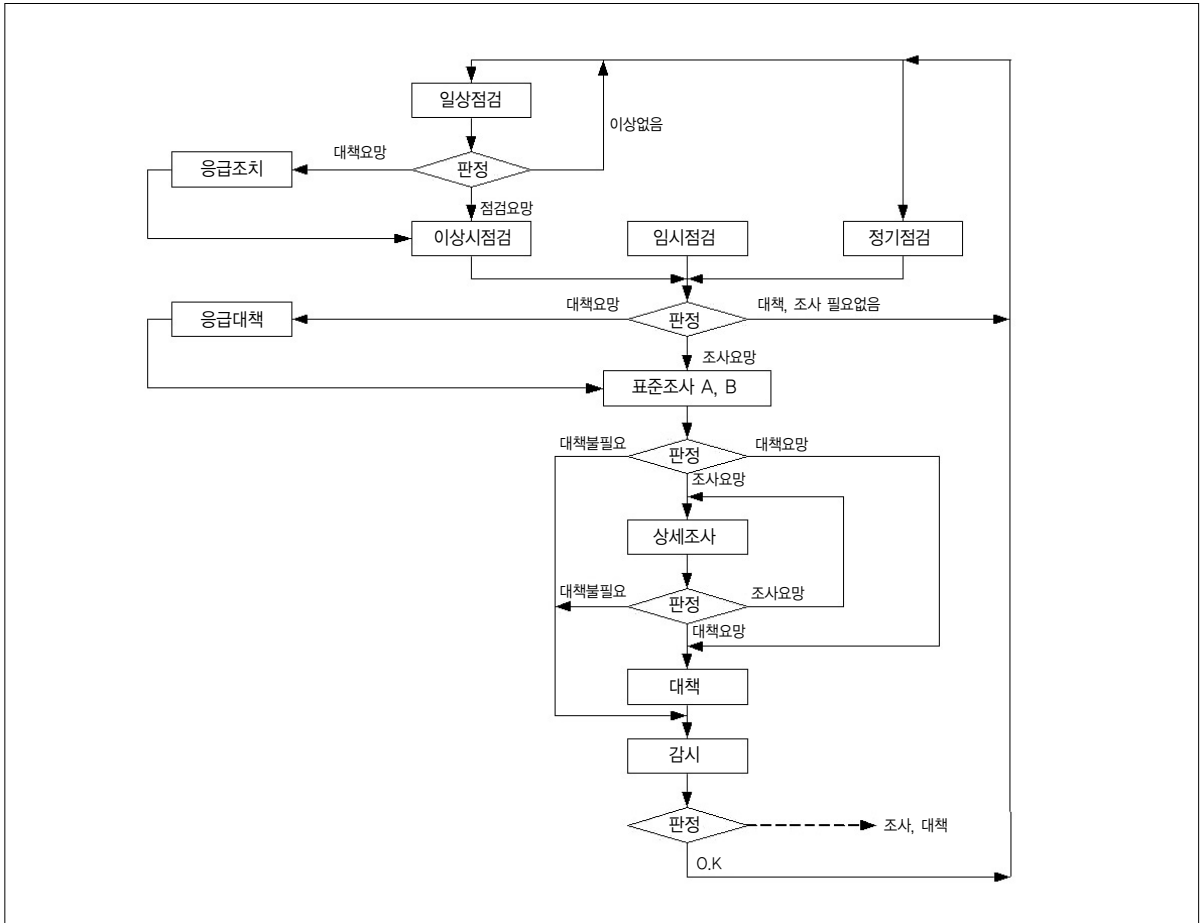


그림 1. 유지관리 순서(일본 국토교통성)

널의 통행량과 우회로, 대체교통의 여부, 터널전후의 선형과 입지조건도 고려하여 종합적으로 보수 및 보강 공법을 결정할 필요가 있다.

지금까지 보수 및 보강공법의 큰 분류와 점검부터 대책까지의 큰 흐름을 소개하였다. 앞으로 2장에서는 보수 및 보강공법의 계획과 공법선정에 관하여 서술하고 3장에서는 재료열화와 외력에 대한 보수 및 보강공법의 개요를, 그리고 4장에서는 지하용수와 고드름 방지공법에 관한 내용을 서술하겠다.

2. 보수계획과 공법선정

2.1 보수계획

2.1.1 전체흐름과 응급대책

변상에 대한 대책은 조사결과로부터 변상정도를 평가하고 그 원인을 추정한다. 또한 터널의 중요도를 고려하여 종합평가하고 각종 변상으로 인하여 저하된 기능과 내구성을 회복시키기 위한 최적의 방법을 검토한다. 검토 시에는 응급대책의 범위·규모 등을 결정하며, 응급대책의 목적을 만족하는 범위에서 경제성도 함께 고려하여 결

정하는 것이 중요하다.

그림 1은 도로터널에 적용된 점검·조사·보수의 전체 흐름을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 일상점검에서 긴급을 요하는 변상이 발견되면 응급조치를 수행하고, 응급 대책이 필요하다고 판단되면 본격적인 보수의 규모와 내용을 위해 표준조사와 상세조사로 구분하여 조사를 수행함으로써 명확하게 대책을 수립한다.

2.1.2 보수 계획의 결정

보수 계획을 결정하는데 필요한 검토항목은 다음에 나오는 (1)~(4)와 같다. 일반적으로 터널전체 연장 내에서 변상이 심각한 부분에 대하여 보수 및 보강시기와 방법이 검토되며 터널 전체가 보수의 대상일 경우 확폭을 고려할 수도 있다.

(1) 보수시기

보수시기에 대한 사항은 유지관리 기준 및 편람을 기초로 하며, 균열폭 3mm 같은 변상 현황을 주된 지표로 하여 결정한다. 변상의 원인에 따라서도 보수시기가 다르겠지만 최종적으로는 터널의 콘크리트라이닝에 따른 내공이 확보된다고 판단되면 콘크리트라이닝에 발생한 변상에 따라 보수시기를 판단하여야 한다.

(2) 보수·보강공법

보수 및 보강공법의 선정은 추정되는 변상 원인으로 부터 결정된다. 예를들어 변상원인이 지반활동인 경우에는 기본적으로 지반활동대책이 터널의 변상대책으로 되기 때문에 일반적인 보수공법이 효과를 발휘할 수 없다. 그리고 변상원인을 명확하게 판단할 수 없는 경우도 있다. 예를들어, 지반반력이 존재하는 건전한 콘크리트 라이닝에서는 느슨한 토압이 작용할 경우에 변상은 발생하지 않지만, 배면공동 때문에 지반반력이 생기지 않는 경우와 누수, 시공 상의 문제가 존재하는 경우 약간 작은 느슨한 토압에서도 콘크리트라이닝에 균열이 발생한다. 이러한 복합적인 변상원인의 경우에는 원인을 추

정하는데 많은 시간과 노력이 필요하다.

따라서 이러한 노력을 들이는 것보다는 많은 원인에 대하여 유효한 배면주입과 같은 보수공법을 조합하여 시공하는 경우도 있다.

일반적으로 보수 및 보강공법의 기본은 변상원인을 규명하고 그에 맞는 보수 및 보강공법을 선정하여야 한다. 이에 대한 상세한 내용은 2.2에 서술하였다.

(3) 기능향상

원상복구를 목적으로 하는 보수 및 보강공법에는 단면 확폭 등과 같이 현재 상태의 기능을 향상시키는 경우가 있다. 또한 장래에 발생할 수 있는 지반활동과 같은 외력의 감소가 예상되지 않는 경우에, 지반활동에 대한 안전성 기능을 향상시킨 지반활동대책을 시공하는 경우도 기능향상 보수 및 보강에 포함된다. 일반적으로는 미래 또는 현재상태의 교통량이 터널의 교통용량을 상회하는 경우 단면 확폭이 수행된다.

(4) 보수구간

터널은 연장방향으로 긴 구조물이므로 보수구간은 변상이 최대인 국부적인 구간에 한정된 경우가 많다. 그러나 보수공사에 의해 교통통제를 하고 이에 따른 경제손실이 큰 경우에는 열화가 최대로 발생한 구간 뿐만 아니라 그다지 열화가 진행되지 않은 구간도 동시에 보수를 실시하여 장래에 발생할 보수공사를 감소시키는 경우도 있다. 특히 바이패스에 의한 교통을 우회시키는 것이 가능한 경우에는 터널전체를 조사하여 보수개소를 선정하는 경우도 있다. 이 경우에는 열화가 현저한 부분에서의 국소적인 건전도가 아닌 모든 구간의 평균적인 건전도가 보수 및 보강의 지표가 된다.

(5) 기타

주의할 점으로는 교통량의 현재 상황 또는 장래 전망은 보수계획의 수립 시 중요한 기초 Data가 되므로 반드시 조사하여야 한다. 가능하면 주간, 야간의 교통량

표 1. 변상원인과 대책공법

	외력에 의한 변상							재질열화	누수
	느슨한 토압	돌발성 붕괴	압·동상압수 (팽창성토압) 소성토압	편토압/지반활동	근접시공	지지력 부족	지진·지각변동		
단면 복구공법	○		△	△	○		○	○	
균열 주입공법	○		△	△	○		○	△	
포인팅(줄눈채움)공법	○		△	△	○		○	△	○
철망·메쉬공법	○		△	△	○		○	○	
덧대기판공법	○		△	△	○		○	△	
보강시멘트공법	○	○	○	○	○		○	△	
시트접착공법	○	○	○	○	○		○	○	
강판접착공법	○	○	○	○	○		○	○	
배면주입공법	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		△
록볼트공법	○		◎						
앵커공법	△		◎	○	○	△	○		
숏크리트 공법	△	△	○	○	○		○	○	
현장타설 라이닝공법	△	△	○	○	○		○	○	
프리캐스트 라이닝공법	△	△	○	○	○		○	○	
인버트공법			◎	◎		◎			
노반아래 보강공법						○			
전면개축공법	○	○	○	○	○	○	○	○	
누수·고드름 방지공법									◎

범례 ◎ : 변상에 대하여 최적으로 고려되는 대책 ○ : 변상에 대하여 적합하다고 생각되는 대책
 △ : 변상에 대하여 경우에 따라서는 유효한 대책

대형차량의 교통량 등 상세한 Data를 조사하도록 한다.

2.2 보수·보강공법의 선정

보수공법을 선정할 때에는 변상의 원인, 대책의 효과, 시공성, 안전성, 경제성 및 시공의 시기에 대한 검토가 필요하다. 또한 긴급조치인 경우를 제외한 모든 보수공법의 선정 시 가장 중요한 점은 변상원인을 정확하게 파악하는 것이다. 지금까지의 연구에 의하면 변상원인에 따라 변상의 특징도 다르게 나타나므로, 변상원인을 추정할 때에는 변상현상의 특징을 파악함과 동시에 터널 시공시의 현황에 관한 자료와 변상이 발생하여 현재시점까지의 경위를 바탕으로 종합적인 검토를 수행한다.

변상은 한 가지 원인만으로 발생하는 것은 드물고 대부분은 몇 가지의 원인이 겹쳐서 나타난다. 또한 시공단계에서 콜드조인트, 양생초기의 급격한 건조, 조기 탈형 등의 시공 시 문제점에 기인하는 경우도 많다. 변상 원인이 추정 가능한 경우 보수 및 보강공법의 선정은 「도로 터널 유지관리 편람」과 「산악터널 콘크리트라이닝의 현상과 대책」에 나타나 있다. 이와 같은 지침을 기초로 새로운 사례를 고려하여 변상원인과 대응하는 대책공법을 검토한 결과를 표 1에 나타내었다. 필요한 경우, 공법의 단독 적용 또는 조합 적용도 가능하며, 시공 시의 교통규제, 안전대책 등에 대해서도 충분히 검토하여야 한다.

3. 재질열화, 외력에 대한 보수·보강공법

3.1 사전처리

3.1.1 표면처리

(1) 개요

콘크리트라이닝 표면은 통상 각종 부착물에 의하여 오염된 상태에 있다. 표면 청소는 이러한 것을 제거하는 것으로서 보수 및 보강공법을 수행하는데 필요한 필수 작업이고 모든 보수 및 보강공법의 전처리로서 적용된다.

또한 표면청소는 매연, 유리석회, 백화, 박테리아 슬라임, 유지 등과 같은 부착물에 의해 터널표면이 피해를 입고 있는 경우에 이것들을 제거하는 역할도 수행한다. 표면 청소는 기타 보수공법의 전처리로서 열화부의 제어작업과 동시에 반드시 실시하는 것이지만 특히 내면보강 또는 부분개축을 하는 경우 기존콘크리트 라이닝과 보수재료로 확실하게 부착할 수 있도록 특히 주의하여야 할 것이다.(사진 1)

(2) 주의점

- ① 육안검사로 부착물의 종류, 범위, 깊이, 콘크리트 라이닝의 열화 상태를 우선 파악한다.
- ② 터널 내 상황에 따라 샌드블라스트, 워터제트, 압착공기, 와이어브러시 등을 이용하여 실시한다. 열화가 넓은 범위에서 발생한 경우와 국부적으로 현저하게 열화된 경우에는 다른 공법의 적용도 검토 가능하다.
- ③ 박테리아 슬라임의 제거 시에는 산업폐기물로서 취급하여 폐기하여야 한다.

3.1.2 쏘아내기공법

(1) 개요

이 공법은 콘크리트라이닝 파편이 낙하할 우려가 있는 경우, 콘크리트라이닝 표면이 국부적으로 열화한 경

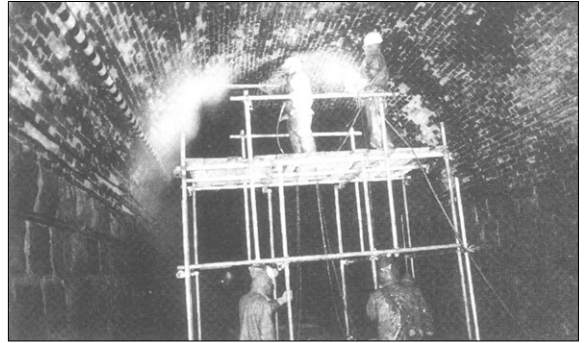


사진 1. Water jet에 의한 표면청소



사진 2. 샌드블라스트에 의한 쏘아내기

우 또는 기타 대책공법 적용을 위한 전처리로 수행한다. 균열과 이음부 등에서 콘크리트라이닝 파편이 박리하여 통행차량 운행에 지장을 줄 우려가 있는 경우에 해머와 정(釘), 샌드블라스트, 워터제트(Water jet) 등으로 두들겨 제거하여야 한다. 쏘아내기를 실시할 부분에는 상황에 따라 적절한 보수재를 이용한 단면복구의 필요성이 요구되는 경우가 있다.(사진 2)

(2) 주의점

- ① 시공에 앞서 육안점검, 타음법 등에 의하여 콘크리트라이닝의 열화상황을 명확하게 파악한다.
- ② 타격으로 제거하는 방법은 콘크리트 내에 새로운 미세균열(Micro Crack)을 유발할 우려가 있다. 열화와 박리가 현저하고 쏘아내기에 의하여 콘크리트라이닝의 기능을 손상할 우려가 있는 경우에는

다른 보수보강공법과 병행하는 것을 검토하여야 한다.

- ③ 쪼아내기가 역학적으로 콘크리트라이닝을 불안정하게 할 우려가 있는 경우에는 다른 공법을 검토할 필요가 있다.

3.2 내장판 교환공법

(1) 개요

내장판은 양호한 시야환경을 확보하여 교통주행환경을 향상시키는 목적으로 터널 벽면에 설치된다. 내장판 교체는 시간의 경과에 따라 배기가스, 매연 및 동결방지제 등에 의하여 현저하게 열화된 경우, 청소에 의하여 표면반사율의 회복이 곤란한 경우 또는 교통사고로 파손된 경우에 대하여 수행한다.

(2) 주의점

사용재료는 a) 표면반사율이 장기간에 걸쳐 양호할 것 b) 표면은 매연 등의 오염물질이 쉽게 부착되지 말아야 하며 또한 부착된 경우에 오염물을 쉽게 제거 할 수 있어야 할 것 c) 자동차 접촉이 발생한 경우 내장구조의 파괴에 의한 주행차량 피해를 최소화 할 것 d) 동결융해에 의한 재질열화가 작은 것 등 최적의 재료를 선정해야 한다.

3.3 단면복구공법

(1) 개요

단면복구공법은 쪼아내기한 부분 및 모든 콘크리트 라이닝에서 발생하는 단면결손부분에서 필요에 따라 시공한다. 단면복구공법은 박리 및 쪼아내기한 부분을 처리하는 것으로 고분자재료(에폭시 수지 등)를 혼입한 모르타르로 충전 및 피폭에 의해 단면을 복구하여 원단면으로 복원하는 공법이다. 일반적으로 터널에서는 상향으로 시공하는 것이 많기 때문에 철망, 철근 및 앵커 등을 이용하여 기계적으로 정착하는 방법을 병행하여 콘크리트라이닝과의 일체화를 할 필요가 있다. 특히 단면 복구부분이 넓은 경우에는 나중에 설명될 덧대기판과

병행시공하는 경우가 있는데 시공직후 복구재의 낙하에 주의를 하여야 한다.

단면복구공법으로는 패칭공법, 프리팩트공법, 이어붓기(打繼)공법, 뿔어붙이기 공법이 있다.

① 패칭공법

비교적 작은 결손부분의 보수에 사용되며 콘크리트 표면을 정리한 후에 충전재를 이용하여 구멍을 매우는 공법이다.

② 프리팩트공법

비교적 결손부분이 깊은 경우에 이용되는 공법으로서 콘크리트 표면을 정리한 후 거푸집을 설치하여 골재를 충전하고 수지계와 폴리머시멘트계 결합재를 주입하는 공법이다.

③ 이어붓기공법

비교적 큰 결손부분에 이용되며 철근 또는 철망을 Setting하고 거푸집 조립 후 모르타르 또는 콘크리트를 타설하는 공법이다.

④ 뿔어붙이기 공법

결손부분이 비교적 얇은 경우에 이용되고 폴리머 시멘트계 모르타르재 등을 직접 뿔어 붙여 복구하는 공법이다.

(2) 주의점

단면복구공법은 열화의 원인, 열화의 상황, 누수상황 등을 감안하여 콘크리트라이닝과의 접착성, 보수재료의 내구성 등 보수재료가 가진 특성을 평가하여 최적인 재료를 선정하여야 한다. 재료를 선정할 때에는 『건조물 보수관리의 표준·동해설(콘크리트 구조)』(1987년 9월, 철도총연)의 「부속자료 4-1 콘크리트의 열화·변상에 대한 보수·보강재료의 선정(안)」을 참고로 하는 것이 좋다.

또한 앵커와 철망 및 철근을 이용하는 경우에는 염분량과 주변 환경을 고려하여 필요한 피복두께를 확보하여야 한다.

3.4 균열주입공법

(1) 개요

균열주입공법은 콘크리트라이닝이 균열에 의해 분리될 우려가 있는 균열부분에 적용한다. 균열주입공법은 일반적으로 균열 그라우트재료를 주입하고 균열의 발생에 따라 저하한 강성을 어느 정도 회복하는 것이다. 무근 콘크리트라이닝에서 작용토포압과 콘크리트라이닝 배면 공동 등의 영향에 의하여 휨모멘트의 발생이 매우 작고 축력이 많이 발생하는 경우에 균열은 상황에 따라 터널 구조체의 안정성에 지장을 주는 경우도 있다. 따라서 균열 주입의 목적은 콘크리트라이닝 균열에 그라우트재를 주입하여 콘크리트라이닝의 일체성을 확보하는 것이기 때문에 철근 콘크리트구조물에 대한 목적과 서로 다르다는 것에 주의해야 한다.

주입공법에는 수동식 주입공법, 자동식 주입공법, 기계식 주입공법 등이 있으며 균열 폭, 길이에 따라 선정된다.

또한 주입재료는 그 성분으로부터 유기계 재료, 폴리머 시멘트계 재료, 시멘트계 재료의 3종류로 분류된다.

- ① 유기계 재료 : 에폭시 수지, 아크릴수지, 우레탄수지 등이 주로 균열주입에 사용됨
- ② 폴리머 시멘트계 재료 : 보통시멘트에 사용되는 혼합수의 일부를 에멀전으로 치환하는 것으로 부착성 등을 개선함
- ③ 시멘트계 재료 : 보통시멘트와 초미립자시멘트를 기본으로 하고 여기에 석분 등을 공장에서 혼합한 후 현장에서 물을 첨가하여 사용함

또한 동일 주입에서도 지수목적인 경우에는 폴리머 시멘트계의 재료가 거의 사용되지 않고 무기계 재료가 사용된다.

(2) 주의점

유리석회와 RC콘크리트라이닝에서 녹물이 발생한 부분은 접착불량이 발생할 가능성이 있으므로 주의를 요한다. 또한 시공 시에는 배면으로 유출될 우려가 있으므로 주입압과 주입량을 관리할 필요가 있다.

3.5 줄눈채움(pointing)공법

(1) 개요

콘크리트라이닝 재료로 벽돌·석재·콘크리트 블록을 사용한 터널에서 각 블록의 이음재로는 열화되었지만 블록은 건전한 경우에 본 공법을 적용한다. 포인팅(줄눈 채움)공법은 열화된 이음재를 제거하고 그 이음부에 모르타르 등을 충전하는 공법이다. 작업방법은 수작업에 의한 방법, 기계(Mortar Gun)에 의한 방법이 있다.

(2) 주의점

- ① 포인팅에 이용하는 모르타르 배합은 부착성, 시공성, 내구성이 양호하여야 한다.
- ② 누수가 광범위하게 발생하는 경우에는 급결시멘트, 경화촉진제 및 고분자재료를 혼합한 모르타르를 이용한다.
- ③ 누수가 많은 경우는 누수부분에 유도관을 설치하는 등 적절한 배수처리를 한다.

3.6 철망(와이어 메쉬)공법

(1) 개요

철망(와이어 메쉬)공법은 균열과 이음부, 부분적인 재료열화, 부분적인 콜드 조인트 등에 의하여 비교적 협소한 범위에서 콘크리트라이닝이 낙하할 우려가 있는 경우와 터널 단면에 여유가 작은 경우에 적용한다. 콘크리트라이닝 표면에 앵커볼트 등을 사용하여 철망(와이어 메쉬)을 고정하고 낙하방지공법을 시공한다. 시공범위가 넓은 경우는 평강과 형강, H형강 등을 이용하여 철망(와이어 메쉬)을 늘려줄 필요가 있다. 이 보수 및 보강공법은 보수 및 보강 후에도 변상부분의 추적조사를 실시할 수 있는 장점이 있다.

철망(와이어 메쉬)의 종류에는 익스팬드 메탈, 메쉬구조의 직포를 포함한 섬유계의 철망, 탄소섬유와 아라미드 섬유, 유리섬유를 수지에 고정한 FRP격자근 등이 이용된다. 철망(와이어 메쉬)을 이용하여 실시된 기존 보수 및 보강으로서 a) 철망(와이어 메쉬)+띠강판 b) 철

망(와이어 메쉬)+격자상형강 등이 있다.

(2) 주의점

철망(와이어 메쉬)재료는 간격이 세밀하고 경량으로 콘크리트 라이닝에 부담을 주지 않는 것으로 선정한다. 또한 철망은 내구성 기준값을 만족해야 하며 누수 등에 대하여 내식성 및 내구성이 있는 것으로 사용한다.

3.7 덧대기판공법

(1) 개요

덧대기판 공법은 균열과 부분적인 콜드 조인트 등 국지적인 재료열화에 의하여 비교적 협소한 범위에서 콘크리트라이닝 조각이 낙하할 우려가 있는 경우 또는 중심과 라이닝을 시공하는 쪽의 내공여유가 없는 경우에 적용한다.

비교적 협소한 범위의 콘크리트라이닝면에 형강, 대강, 강판, FRP판 등을 앵커볼트로 정착하여 박락을 방지하는 공법으로, 기존 콘크리트라이닝과의 일체화에 의하여 콘크리트라이닝 내력을 어느 정도 강화시키는 것이 가능하지만 일반적으로는 응급 보수 및 보강으로 사용된다. 덧대기판 공법을 이용하여 실시되는 기존 보수 및 보강공법으로 a) 큰강판 + 락볼트 b) 강판 + 락볼트 c) L형강 + 앵커볼트 등이 있다. 또한 강판 대신에 에폭시수지 등을 피복한 FRP 시트를 필요한 만큼 순차적으로 겹치는 접착공법도 개발되어 있다.

(2) 시공 · 설계상의 주의점

형강과 대강을 이용하는 경우에는 보강부위, 보강범위를 충분히 고려하여 부재길이, 부착간격 등을 결정하여야 한다.

3.8 보강센터럴공법

(1) 개요

보강센터럴공법은 콘크리트라이닝을 적극적으로 보강할 필요가 있는 경우와 내공 여유가 있는 경우에 적용

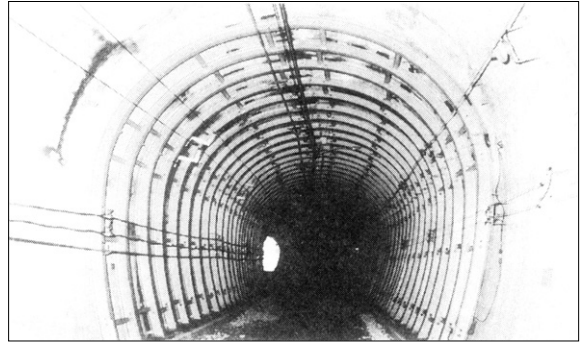


사진 3. 보강센터럴공법에 의한 보수/보강 사례

된다. 또한 콘크리트라이닝의 열화대책으로서는 다른 보수 및 보강공법과 병용하여 적용한다.(사진 3)

보강센터럴공법은 힘 가공한 H형강 등의 강재를 콘크리트라이닝면에 적당한 간격으로 설치하는 공법이다. 토압대책을 겸하는 경우가 많지만 열화된 콘크리트라이닝의 보수 및 보강이 목적으로 박리·박락의 위험성이 높은 콘크리트라이닝을 눌러주는 것과 산성수 등에 의해 열화되어 라이닝 두께가 감소된 콘크리트라이닝을 보강하는 것이다. 또한 콘크리트라이닝 배면공동에 배면주입을 할 경우 주입압에 의한 콘크리트 라이닝의 변상방지가 필요할 때 보강센터럴을 설치하는 경우가 있다. 또한 보강센터럴을 단독으로 사용할 경우에는 일반적으로 콘크리트라이닝에 비하여 강성이 낮아 보강효과를 많이 기대할 수 없다.

일반적으로 다음과 같이 콘크리트라이닝과 병용하는 경우가 많다.

- 박락방지제 - 철망(와이어 메쉬), 덧대기판병용
- 보강효과의 증강 - 라이닝 병용
- 영구보강 - 라이닝 병용

(2) 주의점

① 보강센터럴의 형상 · 치수 · 재질

강재는 신축성이 크고 힘과 용접 등의 가공성이 좋은 강재를 이용한다. 일반적으로 냉각 힘 가공한 H형강

(JIS G 3101에 규정한 SS400 재)이 사용되고 있다. 또 내구성을 위하여 방청처리를 하는 것이 바람직하다.

② 보강센터럴의 단면·설치 간격

보강센터럴의 단면·설치 간격은 변상의 상황, 터널 내공의 단면형상·치수(특히 건축한계에 대한 내공여유), 시공조건 등을 종합적으로 감안하여 결정한다. 보강 센터럴에 작용하는 외력을 추정하는 것은 곤란한 경우가 많으며 일반적으로 기존 보수 및 보강의 예를 참고로 설계하는 것이 많다.

3.9 시트 접착공법

(1) 개요

시트접착공법은 균열 및 재료열화가 부분적으로 발생하고 비교적 협소한 범위에서 콘크리트라이닝 파편이 낙하할 우려가 있는 경우에, 누수가 없고 내공의 여유가 적은 경우 적용되며, 기존 콘크리트라이닝과의 부착을 확보하기 위하여 충분한 전처리가 필요하다.

시트접착공법은 콘크리트라이닝의 약점인 인장응력을 보완하기 위하여 인장보강재를 접착하여 보강하는 공법으로, 콘크리트라이닝의 열화상태와 토압 등 외력 영향의 유·무 및 크기, 한계 여유량 등 현장상황에 따라 적절하게 선택한다. 균열, 쪼아내기를 수행한 후 불안정한 상태로 남아 있는 두판, 혹은 부분적인 재료열화에 의하여 비교적 협소한 범위에서 콘크리트라이닝이 낙하할 우려가 있는 경우에 적용하며, 기존 콘크리트라이닝과의 부착을 확보하기 위하여 누수처리 등 충분한 전처리가 필요하다.

본 공법은 콘크리트라이닝에서 균열 발생부의 변상면 혹은 인장응력 작용면에 시트로 가공한 고강도섬유를 에폭시수지 등을 이용하여 콘크리트 표면에 부착시키고, 접착시킨 시트와 콘크리트라이닝을 일체화시켜 보강하는 공법이다. 고강도 섬유로서는 탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등이 있으며 이 중 탄소섬유가 터널의 변상대책으로 주로 사용된다. 또한, 재료마다 여러 가지 특징을 가지고 있으므로 각각의 재료를 적용할 때에는

재료특성을 잘 이해하여야 한다.

(2) 주의점

섬유시트로서 재료특성을 충분히 발휘하기 위하여 시트와 콘크리트라이닝이 확실하게 접착되도록 면의 처리가 중요하다. 또한 프라이머공법 등의 부착과 섬유시트의 접착공법은 콘크리트라이닝의 표면온도가 5℃ 미만의 경우 프라이머 경화반응과 부착·접착수지의 경화가 지연되어 분진 등이 부착 또는 시공환경의 변화 등에 의한 악영향을 받기 쉬우므로 원칙적으로 5℃ 이상에서 시공해야 한다.

또한 콘크리트라이닝 표면에 함수율이 높은 경우에도 프라이머와 부착·접착수지의 경화가 저해되어 충분한 접착강도를 발휘하는 것이 불가능하므로 콘크리트라이닝면이 결로되지 않은 상태에서 시공해야 한다. 따라서 시공시기 및 시간 등에 주의를 요한다. 콘크리트라이닝의 표면온도가 5℃ 미만이거나 또는 콘크리트라이닝면에 결로가 있는 경우에는 시공현장을 히터 등으로 가열하는 등 적절한 보온 및 건조 조치를 검토할 필요가 있다. 결로가 없는 경우에도 터널 내의 습도가 80% 이상인 경우 또는 시공 시 기후 변화 등에 따라 결로가 발생할 가능성이 있는 경우에는 동일하게 적절한 조치를 검토할 필요가 있다.

3.10 강판접착공법

(1) 개요

이 공법의 적용조건은 3.9 시트접착공법과 동일하다. 강판접착공법은 콘크리트라이닝 표면에 강판을 접착하여 보강하는 공법이다. 강판의 설치는 콘크리트라이닝에 앵커볼트로 고정하고 간극은 수지로 접착시킨다.

(2) 주의점

3.9 시트접착공법과 동일하다.

3.11 배면주입공법

(1) 개요

아치구조인 터널 콘크리트라이닝은 콘크리트라이닝과 배면의 지반을 밀착시켜 지반반력이 균등하게 작용하도록 하여 콘크리트라이닝 전체에 축력이 걸리도록 하는 것이 특히 중요하다.

따라서 숏크리트에 의한 지보공법(표준공법)이 사용되기 이전의 널말뚝공법에 의한 터널에서는 강(鋼)아치 지보재과 널말뚝의 설치에 의해 콘크리트라이닝과 지반과의 공동이 남아 있는 경우가 많으며 특히 강아치 전단부에는 상당한 공동이 생기는 경우가 있어 원칙적으로 배면주입공법을 실시하였다.

터널의 콘크리트라이닝 구조는 지반으로부터 일종의 반력을 얻음으로써 작용하중에 대하여 축력, 즉 콘크리트 압축강도에 저항할 수 있는 것으로 내하력이 증가하게 된다. 그러나 콘크리트라이닝 배면에 공동이 있는 경우에는 공동에서 휨이 발생하여 콘크리트에 인장응력이 발생하고 내하력이 현저하게 저하 된다. 따라서 이를 방지하기 위해서는 콘크리트라이닝 배면공동을 충전하고 지반반력을 균등하게 작용시키는 배면주입공법이 가장 효과적이다.

배면주입공법의 계획은 우선 지형·지질 배면공동의 분포·크기, 콘크리트라이닝의 상태, 용수상황 및 시공 조건 등에 대하여 충분히 조사할 필요가 있다. 또한 주입재는 콘크리트라이닝에 작용하는 토압을 균등하게 전달하는 역할을 담당하므로 지반과 콘크리트라이닝이 주입에 의하여 밀착될 수 있도록 세부까지 충전하여 여러 가지의 변위, 변형에 의한 반력을 콘크리트라이닝에 충분히 전달시킬 수 있는 재료를 선정할 필요가 있다.

다음은 배면주입에 사용되는 각 재료의 특징이다.

① 에어모르타르, 에어믹크

모르타르와 시멘트 믹크에 공기를 혼입하여 유동성을 증가시키는 재료로서, 산악터널의 배면주입재료로 가장 일반적으로 사용되고 있다. 단 일반적인 일액성의 경우 지하수가 있는 조건에서는 재료분리가 일어나므로 적용

이 어려우므로, 지하수 조건에서는 이액성 주입재료를 사용한다.

② 물유리계

젤타입으로 컨트롤이 가능하므로 순결성이 요구되는 경우에 적용되나, 내구성에 문제가 있으며 기존 터널의 배면주입재로서 사용되는 것은 드물다.

③ 가소성 주입재

가소성 주입재는 에어모르타르 및 에어믹크와 동일한 자립성, 충전성을 가지면서도 충전시의 거동에 있어서 적절한 유동화를 꾀비하였다. 암반 내의 균열과 충전부분 이외에 재료의 누설방지와 수중분리 저항성을 향상시키며 용수·대수개소에서 공극충전, 주입한계성의 높이를 배려한 것이다. 또한 적절한 유동화로 주입 펌프압과 자중에 의하여 일정 이상의 압력이 배면재에 작용하는 경우에는 용이하게 변형하여 어느 정도의 공극을 충전하는 것이 가능하지만 이 압력(일반적으로 배면재의 점성에 의하여 결정된다) 이하에서는 유동성이 극단적으로 저하하는 성질을 가지고 있다.

(2) 유의점

- ① 주입재의 선정에 있어서는 재료분리, 블리딩이 적고 주입 후 체적수축이 작은 것을 선정한다. 또한 공동을 충분히 충전할 수 있는 유동성이 필요하다.
- ② 다량의 용수지역에서는 주입재의 선정을 신중히 검토하고, 수발공을 적용한 수위저하공법의 병용을 검토할 필요가 있다.
- ③ 주입압력은 주입재의 종류 및 시공방법을 충분히 고려하고 터널 콘크리트라이닝 및 근접구조물 등에 영향이 없도록 주입이 가능한 범위 내에서 작게 한다.

3.12 록볼트공법

(1) 개요

록볼트 공법은 a) 소성압과 편압 등의 토압에 의한 변형 진행성을 억제 b) 콘크리트라이닝 파편의 박락방지(지반에 완전 부착)를 주된 목적으로 한다.

록볼트 공법은 록볼트가 지반과 일체로 되어 지반강도의 저하를 방지함으로써 변상의 진행성을 억제하는 것이다. 따라서 록볼트는 주변지반에 확실하게 정착되어야 하고 이로 인해 콘크리트라이닝의 보강효과를 얻는 것이 가능하게 된다. 따라서 확실한 정착이 가능한 지반조건 인지 충분히 조사·확인하여 록볼트 공법을 계획하는 것이 중요하다. 또한 소성화가 진행된 경우와 팽창성 지반처럼 큰 토압이 작용하는 경우에는 록볼트를 그라운드 앵커로 교체하여 적용하는 것도 고려할 수 있다.

(2) 주의점

- ① 록볼트 보강공법이 효과를 발휘하기 위해서는 충분한 정착력을 발휘할 수 있는 지반이어야 한다. 따라서 미고결된 토사지반(홍적층, 강풍화층 등)과 점토화된 연약한 파쇄대와 같은 연약한 지반에는 적용할 수 없다.
- ② 특히 변상의 진행성이 현저한 경우에는 터널주변 지반의 열화범위를 확인할 필요가 있다.
- ③ 용수가 많은 경우에는 정착재 유출 등의 문제점이 발생하므로 사전에 용수상황을 파악해 둘 필요가 있다.

3.13 앵커공법

(1) 개요

앵커공법은 a) 그라운드앵커에 콘크리트 라이닝 지보 내압을 높임에 따라 콘크리트라이닝의 안정성 향상 b) 콘크리트라이닝의 내구성 개선을 목적으로 터널구조물을 보강하는 경우에 사용된다.

앵커공법의 계획순서는 a) 변상의 원인 추정 b) 지반 압력의 추정 c) 그라운드앵커공법의 소요내력의 결정으로 한다.

(2) 주의점

그라운드앵커는 초기 인장력을 부여하는 지반이 변형 이전과 같은 상태와 동일하도록 보강효과를 얻는 것이

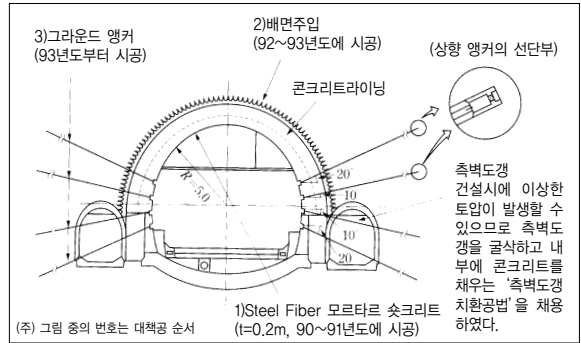


그림 2. 앵커 보강공법의 설계사례

가능하다. 한편 앵커부재에는 상당한 크기의 응력이 작용하고 있으므로 정착암반의 조사, 방식구조, 시공관리의 여부가 앵커공법의 내구성에 큰 영향을 미친다. 또한 유지관리가 필요한 구조체이다.(그림 2)

3.14 슛크리트공법

(1) 개요

스�크리트공법은 콘크리트라이닝의 열화가 10m² 정도 이상의 면적에 광범위하게 걸쳐 발생하고, 토압과 근접 시공 등에 의한 외력이 존재하며 내공에 여유가 없어 충분한 두께를 확보할 수 없는 경우에 적용되는 공법이다.

시공속도가 빠르므로 긴급 대책공법으로 이용된다. 슛크리트공법에 이용되는 재료는 콘크리트와 모르타르 이외에 SFRC(강섬유보강 콘크리트), GFRC(유리섬유보강 콘크리트), 고분자재료를 첨가한 시멘트계 등이 있다. 슛크리트 두께, 재료의 선정에 있어서는 콘크리트라이닝의 열화상황, 토압 등의 외력에 의한 변상의 유무·정도, 한계여유, 경제성, 부착성, 내구성 등을 충분히 고려하여 결정한다.

(2) 주의점

스�크리트공법은 콘크리트라이닝과의 부착성과 부재로서의 일체화에 대한 검토가 충분하지 않으면 슛크리트 재료 그 자체가 박락할 우려가 있다. 한랭지에서는 누수에 대한 조치를 충분히 검토하여야 한다.

3.15 현장타설 라이닝공법

(1) 개요

현장타설 라이닝공법은 콘크리트 라이닝의 열화부가 10m² 이상으로 비교적 광범위하게 걸쳐 발생하고 토압과 근접시공 등에 의한 외력이 존재하며 내공한계 여유가 충분하여 두께를 확보할 수 있는 경우에 기존 콘크리트 라이닝에 타설하고 단면을 증가시켜 내력 증강을 도모하는 공법이다. 본 공법에서는 신규 구조물체의 전단연결근의 배려와 시공이음의 처리가 특히 필요하다.

(2) 주의점

현장타설 라이닝 공법의 두께는 콘크리트라이닝의 열화상황, 토압 등의 외력, 한계 여유량을 감안하여 결정한다. 배합은 필요한 강도를 유지하며 부착성 및 시공성이 양호하도록 결정하여야 한다. 또한 기존 콘크리트의 구속에 의해 건조수축에 의한 균열이 생길 우려가 있으므로 균열대책으로 섬유보강 등을 고려할 필요가 있다.

3.16 프리캐스트 라이닝공법

(1) 개요

프리캐스트 라이닝공법은 기존 콘크리트라이닝의 내측에 프리캐스트판을 설치하고 그 사이를 모르타르 등에 의하여 일체화시켜 강화하는 공법이다. 프리캐스트판으로는 RC판, 섬유보강 콘크리트판 이외에 거푸집을 본체구조물로 사용할 수 있는 PIC(Polymer Impregnated Concrete) 매설거푸집공법이 있다.

(2) 주의점

프리캐스트 라이닝공법 중, 매설거푸집공법에서는 거푸집의 임시 받침대에 센트랄이 필요하며 한계에 대한 여유를 충분히 고려한 공법을 선정하여야 한다.

3.17 인버트 공법

(1) 개요

인버트 공법은 소성압과 편압, 지반활동에 의한 변상

(측압의 작용, 암반 팽창 등)에 대하여 록볼트 등의 기타 보강공법으로도 변상진행을 억제할 수 없는 경우 적용되는 보수 및 보강공법이다. 또한 지내력 부족에 의한 터널침하의 경우에도 이용된다.

인버트공법의 시공조건은 일반적으로는 공용 후 시공으로 이루어지므로 인버트 콘크리트 타설이 역타공법(Top-Down)으로 시공되는 경우가 대부분이다. 또한 철도터널과 도로터널의 경우, 전면적인 차량의 통행급지가 필요하므로 짧은 연장에서 시공이 이루어지는 경우가 많다.

(2) 주의점

- ① 일반적으로 터널에 작용하는 토압을 결정하기는 어려우며 인버트의 두께와 형상을 설계하는 방법은 확립되어 있지 않다. 지금까지의 시공실적과 경험을 바탕으로 표준적인 설계 및 유사한 사례를 참고로 신중히 검토한다.
- ② 인버트의 파손상황에 따라 보강할 것인가 개축할 것인가 판단해야 한다.
- ③ 인버트의 설치에 따라 기존 콘크리트라이닝 주변의 노반·지반이 굴착되므로, 콘크리트라이닝이 불안정한 상태로 되기 쉽다. 또한 콘크리트라이닝이 침하·변형된 경우에는 지반이 느슨한 상태로 되어 터널구조 안정성에 있어서 불리하다. 또한 콘크리트라이닝 내공변위가 진행되는 시점에서 단면을 폐합한 경우에 내공변위는 억제되지만 콘크리트라이닝의 축력이 증가하고 콘크리트라이닝의 구조상 약점부분에는 응력이 집중하게 된다 따라서 인버트공법은 기타 콘크리트라이닝 보수 및 보강공법이 적용된 다음 병용하는 것이 바람직하다.

3.18 노반하부 보강공법

(1) 개요

노반하부 보강공법은 일반적으로 인버트가 없는 구간에서 소성압에 의한 변상과 장기적으로 열화된 암반에

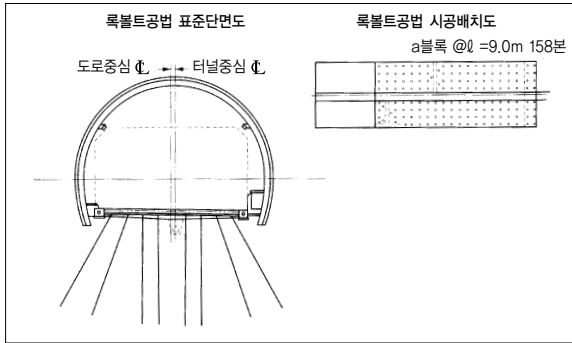


그림 3. 록볼트공법의 설계사례

있어서 암반 팽창과 지지력 부족 등이 발생하는 경우에 이용된다. 이 보강공법으로 완전하게 변상을 방지하지 못하는 경우에는 영구적 대책으로 인버트 보강공법이 사용된다.

터널노반의 보강에는 록볼트공법과 마이크로파일공법이 적용되나 체계적으로 확립된 설계방법은 없다. 따라서 경험적으로 타설간격 및 개량지역 반경 등을 결정하는 것이 일반적이다.(그림 3, 4)

3.19 전면개축공법

(1) 개요

터널전단면 혹은 아치, 측벽부에 재료열화가 현저하고 콘크리트라이닝으로서의 기능을 유지하지 못하고 기타 보수공법으로도 대처할 수 없는 경우에 이용된다.

시공방법에는 교통흐름을 유지하는 상태에서 내측으로부터 개축하는 방법과 외측으로부터 개축하는 방법, 교통통제 상태에서 개축하는 방법, 기존 터널과 평행하게 새로운 노선을 개축하는 방법이 있다. 이러한 방법의 계획에서는 변상상황 이외에도 배면 지질상황, 터널의 통행량과 우회로, 대체수송의 불가, 터널전후의 선형과 입지조건도 고려하여 종합적으로 시공법을 판단하여야 한다.

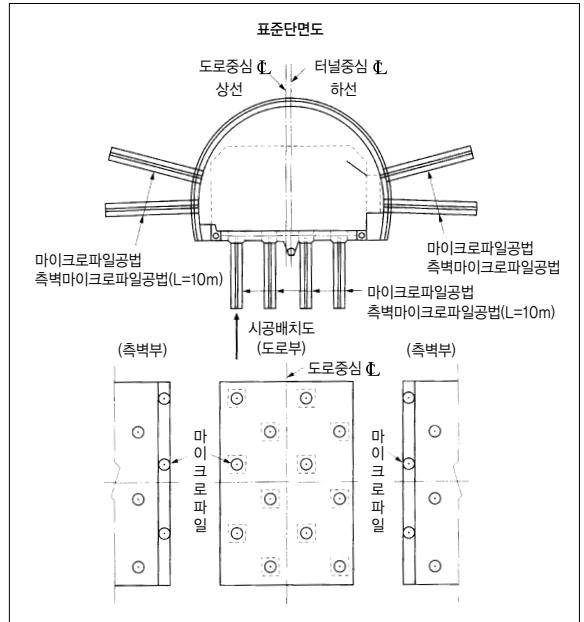


그림 4. 마이크로 파일공법의 설계사례

4. 누수·고드름 방지공법

4.1 누수방지공법

4.1.1 개요

누수방지공법은 사용 면적에 따라 각종 공법이 개발되고 있으며 아래와 같은 종류가 있다.

- ① 선상의 누수방지공법 : 도수(도수 물받이, 도랑), 지수(지수주입, 지수충전)
- ② 면상의 누수방지공법 : 방수판, 방수시트, 숏크리트, 도포
- ③ 기타 : 지하수위 저하공법, 콘크리트라이닝 배면주입공법

표 2는 각 공법의 선정 목적 및 개요를 보여주고 있다.(동결이 있는 경우를 제외)

4.1.2 선상의 누수방지공법

터널의 누수는 일반적으로 시공이음(연직이음, 수평

표 2. 누수방지공법의 선정 사례 (누수의 동결이 없는 경우)

공법선정 요인	누수상태 내공여유	선상				면상				기 사
		소량		다량		소량		다량		
		유	무	유	무	유	무	유	무	
선상의 누수 방지공법	도수흡통	○		○		△		△		· 누수가 콘크리트 라이닝의 타설 이음매처럼 직선상의 경우에 적용한다.
	흠파기공법		○	○	○		○		○	· V 커트, U 커트가 있다. · V 커트를 아치에 시공하는 경우는 메움재가 박리하지 않도록 주의가 필요. · 면상의 누수방지공의 전처리로서도 실시.
	지수(지수주입, 지수충전)	△	△							· 도랑+흔적메움의 경우 포인팅의 경우가 있다. · 누수량이 적수정도에 누수범위가 한정된 경우에만 적용.
면상의 누수 방지공법	방수판								○	· 본 대책에 적용한다. 장래 균열의 진전 등의 변상진행이 없다고 판단되는 개소에 적용.
	방수시트					○		○		· 라이닝, 개축 등을 하는 경우에 적용.
	뿔어붙이기·도포					○	△			· 누수상태가 경미한 경우에만 적용.
지하수위 저하공법			○	○				○	○	· 지하수위가 높고, 통수와 차량주행에 의한 반복하중에 의하여 기반재료가 배출되어 터널구조에 문제가 일어나는 경우 등에 적용.
콘크리트라이닝 배면주입공법			○	○				○	○	· 흠두께가 작고, 지표면과 터널배면의 공동을 유로서 직접 터널내에 유입하는 경우 등에 적용.

○ 적용가능 △ 경우에 따라 적용가능

이음)과 균열에서 선상누수의 경우가 많으며, 방지공법 으로서는 흡통, 도랑에 의한 유도배수와 누수에 대한 지 수가 이용되고 있다.

(1) 도수흡통

1) 개요

콘크리트라이닝 표면에 발생한 누수를 흡통에 의하여 배수구로 유도하는 공법이다. 흡통의 구조는 그림 5에 나타낸 것처럼 여러 가지 종류가 있으며, 흡통재료를 콘 크리트라이닝 표면에 앵커볼트로 고정하는 간단한 공법 이다. 대량 누수 시에 대한 즉시 대응성이 높고, 설치 후 의 탈착도 용이하므로 응급대책 이외에 본 대책으로서 도 사용 가능하다.

2) 주의점

- ① 실링재가 콘크리트라이닝에 완전하게 밀착하여야 한다.
- ② 콘크리트라이닝과 실링재의 경계부로부터 누수가 발생하지 않도록 확실하게 고정한다.

(2) 흠파기공법

1) 개요

흠파기(도랑)는 누수의 발생 원인인 균열부를 V형 단 면과 U형 단면의 흠으로 형성하고 그 가운데에 파이프 와 고무로 배수구를 설치하여 표면을 시멘트계 충전재 와 고무계 실링재로 복구하는 공법이다. U형의 도랑은 통수단면이 비교적 크고 내구성에도 우수하다. 본 공법

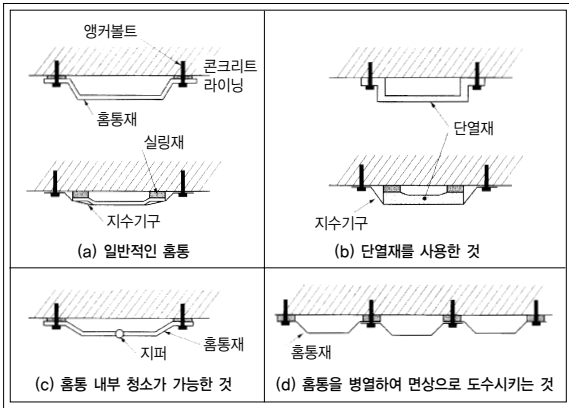


그림 5. 도수흡통의 개요

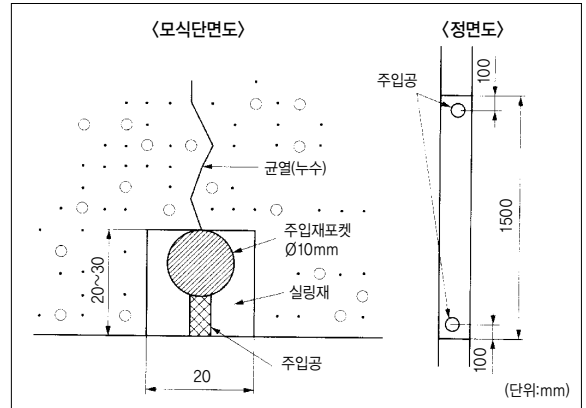


그림 7. 지수주입의 사례

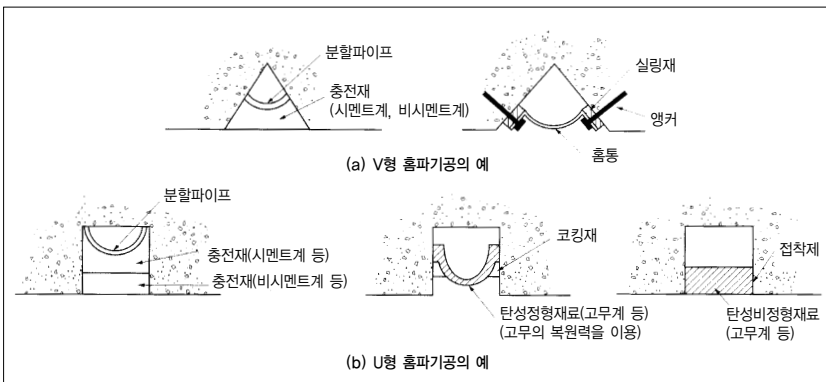


그림 6. 흡파기공법

(3) 지수주입

1) 개요

지수주입은 균열에 만든 홈에 주입관을 설치하여 모르타르 등을 되메움한 후 설치한 주입관으로부터 유기계 또는 무기계의 재료를 균열의 심부까지 주입하는 공법이다. 대량누수 시에는 시공이 불가능하기 때문에 응급대책으로 적용할 수 없고 본 대책으로만 적용한다. 여러 종류의 지수주입이 사용되고 있으며 그 중 한 예가 그림 7에 소개되어 있다.

2) 주의점

- ① 주입재가 대량으로 주입되는 경우에는 콘크리트 라이닝 배면으로 주입재가 흘러나갈 수 있으므로, 이 경우 주입을 중단하고 별도대책을 고려하여야 한다.
- ② 주입부분에 대량으로 누수가 있는 경우에는 수발공을 사용하여 누수량을 저감시킨 후 시공한다. 간단하게 지수주입만을 시공하면 수위가 변화하여 다른 부분으로 누수를 발생시킬 수 있다.
- ③ 균열표면에 레이턴스, 분진, 유지류, 염분 등이 부

은 대량 누수 시 즉시 대응력이 낮기 때문에 응급대책으로 이용하기에는 어렵지만 표준조사에 큰 방해가 되지 않으므로 본 대책에 적용하고 있다. V형 및 U형 도랑의 개략도를 그림 6에 나타내었다.

2) 유의점

- ① 고무계 실링재와 콘크리트라이닝을 직접 접촉시킨 경우에는 평탄한 접촉면이 필요하며 커터를 이용한 U형 홈으로 할 필요가 있다.
- ② 피크를 사용할 경우에는 커터로 인하여 평탄한 절단면이 상하지 않도록 유의한다.

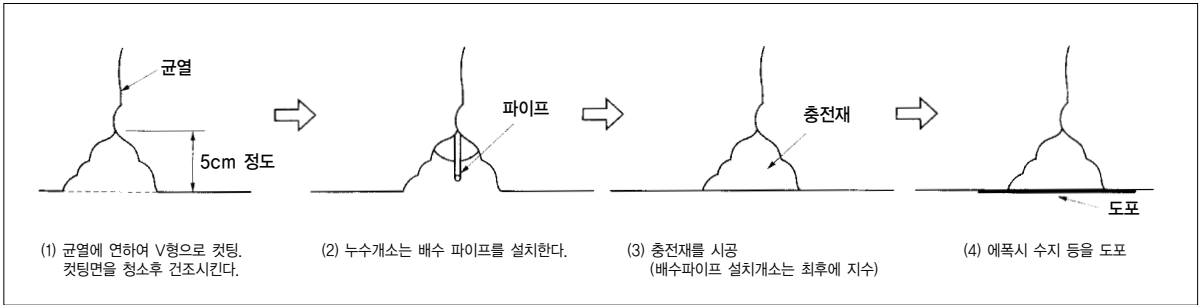


그림 8. 지수충전 순서

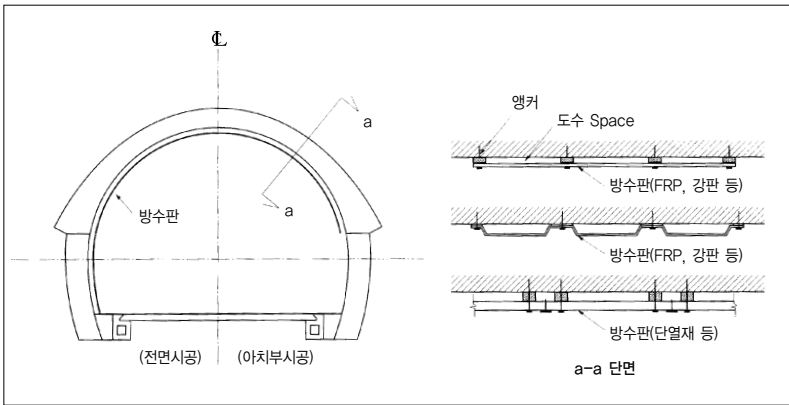


그림 9. 방수판의 개요

착되어 있는 경우에는 이들을 확실하게 제거한 후 주입을 실시한다.

(4) 지수충전

1) 개요

균열에 연결하여 흠을 만들고 그 안에 모르타르 등을 충전하는 지수공법이다. 터널의 지수대책으로서 다수의 실적이 있지만 대량 누수 시에는 시공할 수 없으므로 응급대책으로는 사용하지 못하며, 이외에도 시공 후 상당한 기간이 지난 후 충전재가 열화하여 박락하는 사례도 보고되고 있다. 따라서 본 공법을 본 대책으로 이용하는 경우에는 3.7에 설명한 덧대기판공법(판넬계)에서 누수 대책이 필요한 경우에만 적용하는 것이 좋다. 그림 8에 본 공법의 개요를 나타내었다.

2) 주의점

- ① 누수가 많아 파이프에 의하여 지하수처리가 불가능한 경우에는 별도의 흠을 이용한 공법 적용을 검토할 필요가 있다.
- ② 급결시멘트 등의 건조수축이 심한 재료를 충전재로서 이용하면 균열이 발생하여 지수효과가 급격히 떨어지므로 이와 같은 재료의 사용을 피한다.

4.1.3 면상의 누수방지공법

광범위하게 누수가 발생하는 경우에는 슛크리트와 방수판에 의한 보수공법을 적용한다. 이 경우도 선상의 누수방지공법과 마찬가지로 유도배수를 기본으로 고려하는 것이 많으며 방수판이 가장 확실한 공법이다. 열화방지를 겸비한 슛크리트가 사용되고 있지만 이 경우는 유도배수대책을 병용하는 것이 필수적이다. 또한 콘크리트라이닝면의 전처리(표면청소, 쪼아내기, 단면복구, 프라이어 등)를 적절히 실시하고 부착성이 높은 슛크리트 재료(폴리머시멘트 모르타르 등)를 이용하는 등 계면에의 누수·동결의 방지도 노력하는 것이 중요하다. 또한 일반적으로 앵커와 철망을 이용하여 일체화 시키지만 두께를 충분하게 확보할 수 없는 경우가 많기 때문에 부

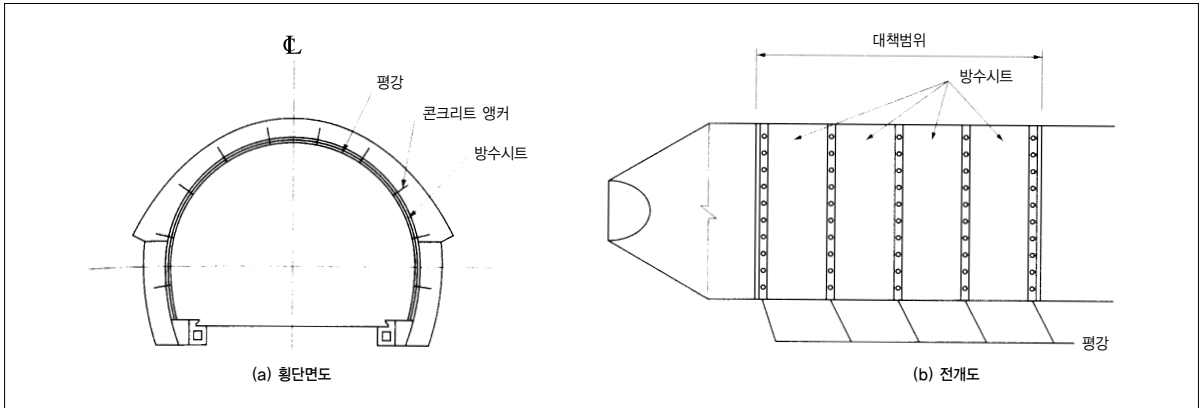


그림 10. 방수시트의 개요

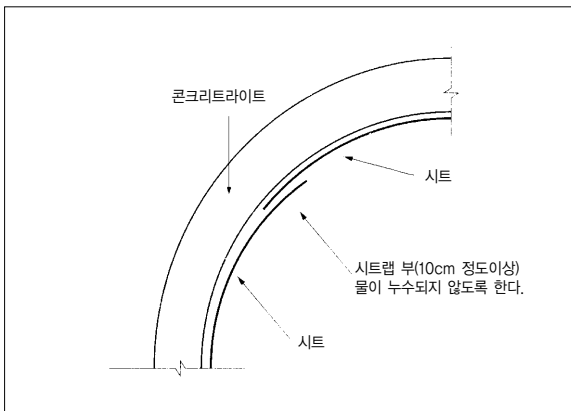


그림 11. 방수시트의 분할시공방법

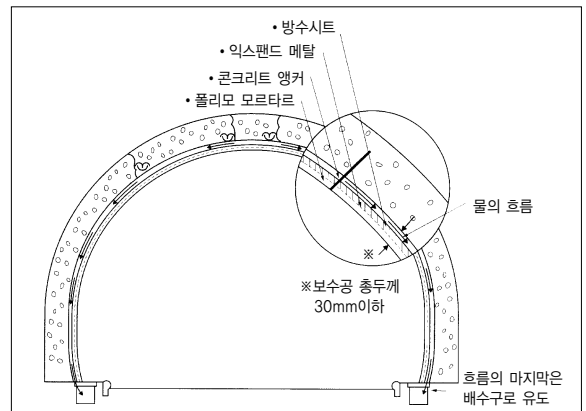


그림 12. 도포의 대책사례

식의 우려가 없는 재질을 이용하는 것이 바람직하다.

(1) 방수판

1) 개요

공장 제작된 방수판을 콘크리트라이닝표면에 붙여 방수판과 콘크리트라이닝 사이에 공간을 설치하여 유도배수하는 공법이다. 본 공법은 내구성이 높고 방수효과도 확실하여 본 대책에 적용되지만, 방수판 설치에 의한 배면콘크리트라이닝의 상황이 확실하지 않기 때문에 미래에 균열진전과 같은 변상 진행이 없다고 판단되는 부분에 적용할 필요가 있다. 그림 9에 개요를 나타내었다.

2) 주의점

설치 시 및 설치후의 판의 뒤틀림과 변형을 방지하기 위하여 콘크리트라이닝면의 요철은 설치 전에 평탄하게 할 필요가 있다.

(2) 방수시트

1) 개요

콘크리트라이닝표면에 방수시트를 붙여 누수를 방지하는 공법이다. 대량출수에 대한 즉시 대응성이 높고 설치 후의 탈착도 용이하므로 응급대책에 적용한다. 단 내구성에 약하므로 내구성이 있는 방수공을 본 대책으로 실시할 필요가 있다. 그림 10에 개요를 나타내었다.

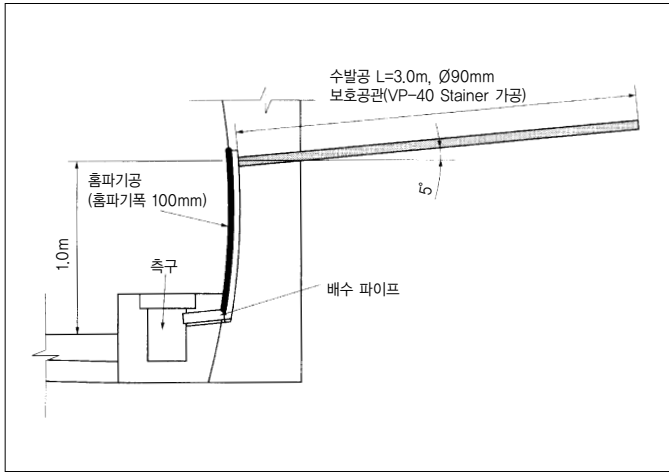


그림 13. 수발공의 개요

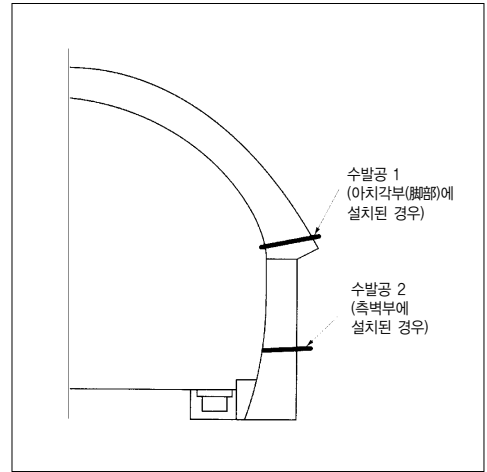


그림 14. 수발공의 개요

2) 주의점

- ① 수압과 토압 등으로 시트가 벗겨져 떨어지지 않도록 하기 위하여 콘크리트 앵커만의 시트의 고정을 피하고 고정보조재(평강 등)를 적절하게 배치할 필요가 있다.
- ② 시트에서 유도배수한 누수는 적절하게 배수구로 유도한다.
- ③ 방수시트를 터널 횡단방향으로 분할하여 시공하는 경우에는 그림 11에 나타난 것처럼 상방향으로부터 순서대로 설치하고 시트의 램부분으로부터 물이 흐르지 않도록 한다.

(3) 도포

1) 개요

본 대책의 일종이며 그림 12에 나타난 것처럼 배면 배수층으로서 방수층 시트가 포함된 모르타르층(보강근 삽입)을 콘크리트라이닝면에 설치하여 유도배수하는 공법이다. 방수판에 비하여 두께가 얇은 유도배수공법이며, 내공단면의 여유가 없는 경우에 유리한 공법이다. 단 통수단면이 작으며, 소량의 누수에만 적용하는 것이 기본이다.

2) 주의점

- ① 숯크리트를 적용할 경우에는 터널 내 분진대책, 비산방지조치를 강구할 필요가 있다.
- ② 보강근에 방수시트를 확실하게 고정하고 도포재를 평탄하게 마무리한다.

4.1.4 지하수위저하

(1) 수발공

1) 개요

보링공을 터널내부로부터 천공하고 주변 지반내의 지하수를 보링공에 집수한 후 터널내부로 유도하여 터널 주변의 지하수를 배출시키거나 또는 지하수위를 저하시키는 공법이다. 응급대책 및 본 대책으로서 적용가능하다. 그림 13에 개요를 나타내었다.

2) 주의점

집수관(Strainer)의 구멍보다 작은 토사가 유공관내로 유입될 가능성이 있는 경우 유공관의 주위로 흡출방지재(지오텍스타일 등)를 감아둔다.

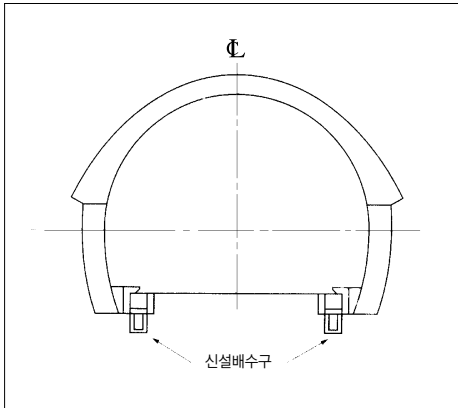


그림 15. 배수구의 개요도

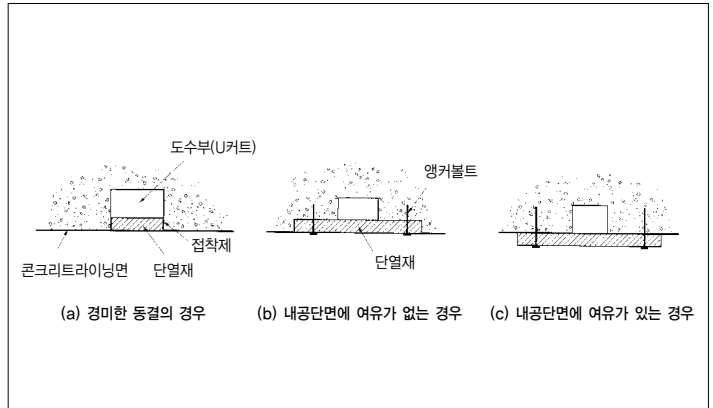


그림 16 U커트 단열재 삽입공의 사례

표 3. 고드름 대책공법의 선정사례

공법선정요인	누수·동결상태	선상		면상		비고
	내공여유	유	무	유	무	
단열공법	U 커트 단열재삽입	○*	○**			* 한랭의 정도가 작은 경우에 유효 ** 단열재두께분의 흠파기가 U 커트 폭 이상으로 필요
	표면단열처리	○		○		
	이중라이닝단열처리			○	○	· 콘크리트라이닝 보강이 필요한 경우
						· 한랭 정도가 큰 국부적인 누수의 경우 · 전원이 필요
가열공법	전열히터	○				

(2) 수발공

1) 개요

터널주위에 흐르는 지하수를 터널 내의 배수구로 모으는 공법이며 응급대책 및 본 대책으로 적용된다. 수발공은 갱내 누수부분의 하향으로 설치하는 것이 기본이다. 또한 아치부 균열부분에서의 누수에는 아치각부 부근에, 수평 이음부에서의 누수에는 측벽부에 여러 가지 수발공을 배치한다. 그림 14에 개요를 나타내었다.

2) 주의점

- ① 수량이 감소하지 않은 경우에는 수발공의 적용을 검토할 필요가 있다.
- ② 지반으로부터 세립분이 누출되는 경우에는 흡출 방지재를 삽입한다.

(3) 배수구

노면과 노반, 인버트 콘크리트와 지반과의 경계면보다도 지하수위가 높은 경우나, 차량통행에 의한 반복하중 등에 의하여 토사가 배출되는 경우에 지하수위를 저하시킬 목적으로 기존 배수구의 지반을 낮추거나 혹은 새로운 배수구를 설치하여 터널 외 또는 센터 드레인 등으로 누수를 유도하는 공법이다. 본 대책으로도 적용할 수 있으며, 지하수의 공급방향, 수압 등에 대한 조사, 배수조건 등과 같은 현장조건을 고려하여 가장 효율적인 위치에 배수구를 설치하여야 한다. 배수구의 일례를 그림 15에 나타내었다.

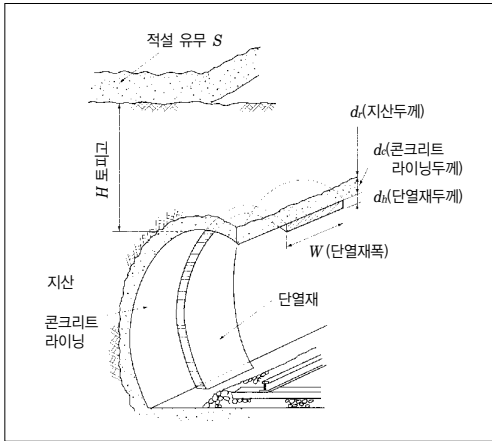


그림 17. 표면단열처리공법의 개요 (모식도)

4.2 고드름 방지공법

4.2.1 개설

고드름 방지공법은 일반적으로 단열공법과 가열공법과 같이 열에너지의 관점으로 접근하고 있다. 고드름 방지공법의 종류는 다음과 같으며, 표 3은 각 공법의 선정 목적을 보여주고 있다.

- ① 단열공법 : U 커트 단열재 삽입공법, 표면단열처리공법, 이중라이닝 단열처리공법
- ② 가열공법 : 전열히터, 히터파이프

단, 가열공법은 고드름 방지효과가 높다는 것이 실험으로 증명되었지만 비용측면에서 실용단계에 이르지 못했기 때문에 여기서는 단열공법만 언급하겠다.

4.2.2 단열공법

(1) U커트 단열재삽입

1) 개요

누수·고드름이 선상에 발생하며 일반적으로 한냉지의 정도가 작은 경우에 적합한 공법이며 종목지부, 균열부 등의 누수·고드름 개소를 U형으로 커트하고 단열재를 삽입, 또는 콘크리트라이닝 면에 길게 붙여 누수의 동결을 방지하여 유도배수한다.

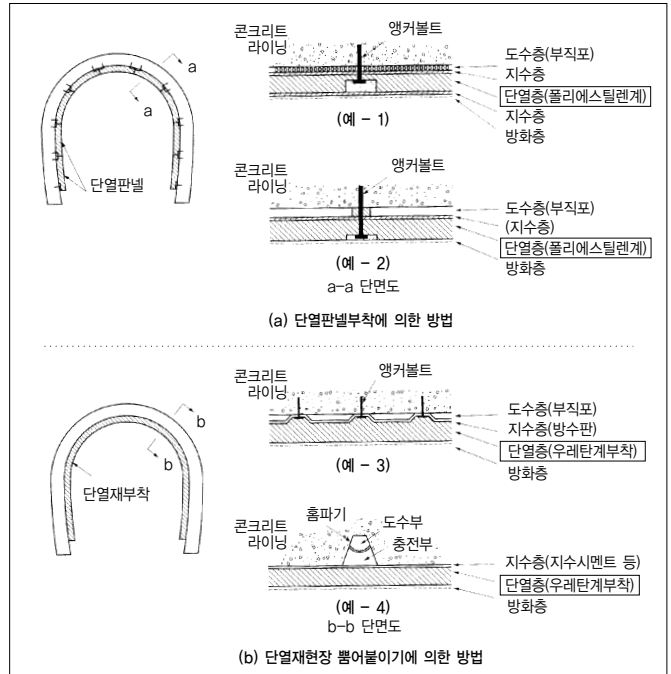


그림 18. 각종표면단열처리공법

본 공법은 동결심도와 단열하는 폭을 고려하면 한랭지에서도 동결의 정도가 비교적 경미한 부분에 한정된다. 그림 16에 시공사례를 나타내었다.

2) 주의점

- ① 단열재배면의 유도배수부는 누수상황에 따라 적절한 구조로 한다.
- ② 시공 면에 부착되어 있는 분진과 열화부분을 제거하고 필요에 따라 단면복구를 하여 요철을 제거한다.
- ③ 기타 4.1.2 선상의 누수방지공의 주의점을 참조할 것

(2) 표면단열처리

1) 개요

누수·고드름이 면상 혹은 선상으로 발생하고 있으며 내공단면에 여유가 있는 경우에는 콘크리트라이닝 표면에 단열재를 설치하는 공법이 적용가능하다.(그림 17) 기온터널의 동결대책으로서 가장 일반적이며 그림 18

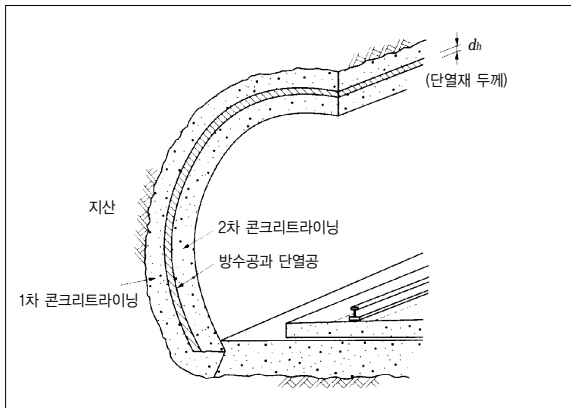


그림 19. 이중라이닝 단열처리공법의 개요

에 나타난 것과 같은 종류가 있다.

표면단열처리공법의 일반적인 구성은 콘크리트라이닝 표면 측보다 누수방지를 위한 유도배수층, 단열층 및 화재방지를 위한 방수층의 3층 구조이다. 일반적으로 공장에서 방수판으로 단열재를 뿔어붙여 형성한 단열판넬을 유도배수층을 고려하여 붙이는 방법이 이용되고 있다. 단열재료는 발포폴리에틸렌과 발포폴리스티렌, 발포우레탄 등이 있다. 또한 단열재 표면의 방수층은 단열판넬에 미리 접착해놓은 경우와 현장에서 단열판넬을 붙인 후 뿔어붙이는 경우가 있다.

2) 주의점

- ① 단열재배면의 유도배수부는 누수상황에 따라 적절한 구조로 한다.
- ② 시공면에 부착되어 있는 분진과 열화부분을 제거하고 필요에 따라 단면복구를 하여 요철을 제거한다.
- ③ 단열판넬은 앵커볼트로 확실하게 콘크리트라이닝에 정착하고 붙인 후 풍압 등에 의하여 떨어지거나 벗겨지는 않도록 한다.
- ④ 단열판넬은 시공 후에 누수와 동결에 의한 문제가 발생하지 않도록 적절하게 처리한다.
- ⑤ 기타 4.1.2 선상의 누수방지공의 주의점을 참조할 것

(3) 이중 라이닝 단열처리

1) 개요

누수·고드름이 면상으로 발생하며 콘크리트라이닝의 강화도 필요한 경우에 이용되는 공법이다. 단열재가 콘크리트라이닝 중간에 존재하기 때문에 단열재의 두께를 얇게 할 수 있는 장점 외에 앞에서 언급된 표면처리 및 단열처리보다 확실한 대책효과가 얻어지며 내구성에도 우수하다. 따라서 동상압과 콘크리트라이닝 재료의 열화가 현저하고 부분개축과 전면개축이 필요한 경우에 이용하는 것이 좋다. 그림 19에 공법의 개요를 나타내었다.

2) 주의점

표면단열처리공법과 동일하다.

참고문헌

- 1) 일본도로협회 : 도로터널 유지관리편람, pp. 140, 1993.
- 2) 일본토목학회 : 산악터널콘크리트 라이닝의 현상과 대책, pp. 168, 2002.
- 3) (재) 철도총합기술연구소 : 터널보강·보수 매뉴얼, 1990. 10.
- 4) 일본도로공단 : 설계요령제3집터널, 터널본체 공정 전면(변상대책), 1998. 10.
- 5) 일본토목학회 : 산악터널 콘크리트 라이닝의 현상대 대책, 2002년 9월
- 6) 독립행정법인 토목연구소 : 도로터널변상대책공 매뉴얼(안), 토목연구소자료, 2002.2
- 7) (재) 철도총합기술연구소 : 터널보강·보수 매뉴얼(제Ⅳ편 '누수·동결대책'), 1990. 10.
- 8) 眞下 英人, 石村 利明 : 기존터널의 단면확대 기술의 개발, 터널과 지하, Vol. 34, 2003. 9.
- 9) 石村 利明, 眞下 英人 : 기존터널의 단면확대 기술의 현상, 제23회 일본도로회의 논문집(B).