

구획분리 방수공법



서상연
GS건설기술연구소
토목인프라연구팀
선임연구원



하희상
GS건설기술연구소
토목인프라연구팀
수석연구원



이상필
GS건설기술연구소
토목인프라연구팀
수석연구원



김정일
Grace Construction
Products Building
Envelop System
팀장

1. 개발 배경

지하에 건설되는 터널은 그 특성상 언제나 누수 현상이 발생하지 않도록 각별히 주의를 기울여야 한다. 누수 현상이 발생하면 터널 라이닝의 기능이 저하되며 터널의 수명까지 단축되는 등 많은 악영향이 생기게 된다. 특히 동절기에 누수가 발생하면 터널의 노면뿐만 아니라 아치부와 측벽부에도 얼음이 얼게 되어 터널 내부의 차량 통행에 지장을 주고 터널의 안전 및 내구성에도 악영향을 미치게 된다.

우리나라에서 주로 사용되고 있는 터널 건설 방식인 NATM(New Austrian Tunneling Method)의 시공 방식은 일반적으로 터널 천공 및 굴착, 1차 슛크리트 타설, 락볼트 시공, 2차 슛크리트 타설, 배수 및 방수층 시공, 라이닝 콘크리트 타설, 타일 등 내장재 시공 및 마무리 작업순으로 이루어진다. 슛크리트층을 투과한 지하수는 부직포 배수층을 거치나 방수층을 통과하지 못하고 유도관을

통해 유도된 후 터널 외부로 배수된다. 그러나 방수층에 시공상의 이어나 열화로 인한 손상이 발생하여 슛크리트층 및 배수층을 투과한 지하수가 방수층을 통과할 경우 라이닝 콘크리트의 균열이 발생한 곳을 통해 터널 내부로 지하수가 유입된다. 이렇게 누수가 발생할 경우 터널의 기능이 심각하게 저하되며 유지 보수 비용이 매우 증가하게 된다. 또한 방수층이 콘크리트 라이닝 배면에 있어 누수가 발생한 지점을 정확히 파악하기 힘들기 때문에 방수재시공과 누수 보수가 매우 힘들며 보수 비용이 기하학적으로 증가한다. 그러므로 방수 시공이 편리하고 누수 발생을 감소시킬 수 있으며 누수 발생시 유지 보수가 용이한 방수 시공 공법의 개발이 필요하다.

2. 기술의 원리

본 공법은 터널 방수층과 라이닝 콘크리트 사이의 공간

에 콘크리트 일체형 테이프를 이용하여 방수 구간을 분리하여 누수 발생시 지하수가 터널 전단면으로 확대되는 것을 방지하고 유지 및 보수를 용이하게 하는 터널 방수 기술이다. 터널 방수에서 가장 중요한 역할을 담당하는 터널 방수재는 주로 ECB(Ethylene Copolymer Bitumen), V.E.(VLDPE+EVA), EVA(Ethylene Vinyl Acetate), PVC(Polyvinyl Chloride) 등으로 만들어지며, 이러한 터널 방수재를 이용하여 시공하는 방수층은 합벽시공과 유사한 구조를 가지고 있다. 즉 터널 방수재는 시공 바탕면은 물론 콘크리트 라이닝 타설층과도 부착되어 있지 않다. 이렇게 터널 방수재는 슛크리트와 콘크리트 라이닝과 접착되어 있지 않은 장판지와 같은 형태이므로 방수재에 손상이 발생할 경우 누수가 방수층과 콘크리트 라이닝 사이를 자유롭게 이동하게 된다. 이로 인하여 누수가 터널 전단면으로 확대되고 누수가 발생한 지점을 정확히 파악하기가 힘들어 실질적인 보수가 거의 불가능하게 된다. 이러한 누수의 확대를 방지하고 누수 발생 지점을 쉽게 파악하기 위하여 방수재와 콘크리트 라이닝 사이의 공간을 콘크리트 일체형 테이프를 이용하여 방수 구간을 분리하는 것이 터널 구획 분리 방수 공법의 원리이다.

콘크리트 일체형 테이프란 접착면을 가진 얇은 멤브레

인(membrane)을 방수 시트 혹은 필름의 형태로 형성한 것으로 터널 방수 시트와 콘크리트 라이닝에 접착되어 방수 시트와 콘크리트 라이닝 사이로 누수가 이동하는 것을 방지한다. 콘크리트 일체형 테이프는 시트 형태 뿐만 아니라 워터스탑(waterstop)과 같은 지수재나 수팽창 지수재의 형태로도 만들어질 수 있다. 이러한 콘크리트 일체형 테이프를 그림 2에 나타난 바와 같이 일정 구간(예: 10 m)마다 방수시트와 콘크리트 라이닝 사이에 설치하여 구획을 분리한다. 그림 1에 나타난 것처럼 방수층과 라이닝 사이가 분리되어 있는 일반 터널 방수 시스템의 경우 누수 발생 후 지하수가 터널의 횡방향 및 종방향으로 자유롭게 이동하여 누수 발생 지점(방수층 파단 혹은 용접부 위 파손)과 누수 발견 지점(라이닝 콘크리트 균열부)이 상이한 경우가 많다. 여기에 지속적인 수압이 작용할 경우 누수가 터널의 전방향으로 계속 확산되어 완벽한 누수 하자 보수가 불가능하게 된다. 그러나 콘크리트 일체형 테이프를 이용하여 방수 시트와 콘크리트 라이닝 사이의 구획을 분리할 경우 누수가 발생하더라도 지하수의 이동을 일정 구간 안으로 제한할 수 있어 누수의 확산을 방지하고 특정 구간만 누수 보수를 하면 된다.

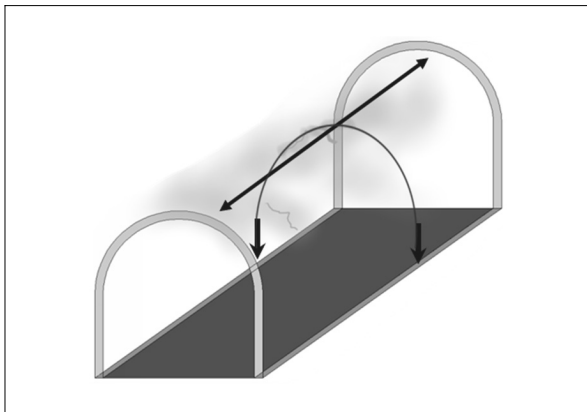


그림 1. 누수 발생 후 지하수가 방수 시트와 콘크리트 라이닝 사이를 자유롭게 이동

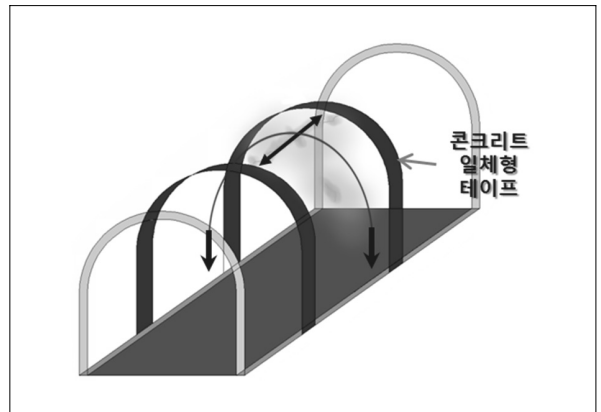


그림 2. 콘크리트 일체형 테이프를 이용하여 방수시트와 콘크리트 라이닝 사이의 구간을 분리

3. 구획분리 방수 공법의 구성

구획분리 방수 공법은 크게 터널 방수층(방수 시트)과 콘크리트 일체형 테이프를 이용한 일체부착층으로 구성된다. 방수 시트는 NATM 터널의 방수 시공에 일반적으로 많이 사용되는 열가소성 플라스틱 재질의 ECB나 V.E. 시트, PVC, EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer Rubber), 혹은 콘크리트 일체형 테이프와의 부착력을 높일 수 있는 합성 재질의 방수시트 등이 사용된다. 콘크리트 일체부착층은 방수시트와 라이닝 콘크리트 양쪽에 단단히 접착되어 일체층화될 수 있는 재료로 만들어진다. 주로 접착면을 가지는 멤브레인을 시트 또는 필름 형태로 형성하거나 PVC 지수재, 수팽창성 지수재 등이 사용된다. 콘크리트 일체형 테이프의 가장 중요한 특성은 라이닝 콘크리트와의 접합력이며 누수가 발생하였을 경우 누수의 확산을 막을 수 있는 충분한 수압 저항성을 지녀야 한다. 공법 개발시 사용되는 콘크리트 일체형 테이프의

경우 7Bar의 수압을 견딜 수 있도록 제작되었다.

방수층 시공 후 콘크리트 일체형 테이프를 방수 시트에 접착한 후 라이닝 콘크리트를 타설하여 구획분리 방수층을 형성한다. 그러나 시공상 편의를 위해 방수 시트에 콘크리트 일체부착 테이프가 같이 성형되어 제작되는 일체형 구획분리 방수 시트를 사용하기도 한다.

4. 기술의 특징 및 효과

터널의 방수층을 형성하는 방수 시트는 일정 폭(예: 2 m)으로 된 롤(roll)제품으로 설치하며 설치시 현장에서 용접으로 방수시트를 접합한다. 방수 시트를 서로 용접하여 연결할 때 용접 중복 너비를 80mm 이상 겹치도록 하여 자동 열용착기로 접합한 후, 에어테스트를 통하여 접

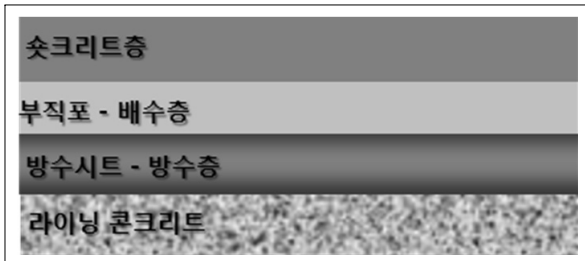


그림 3. 기존 터널 방수 공법의 구성

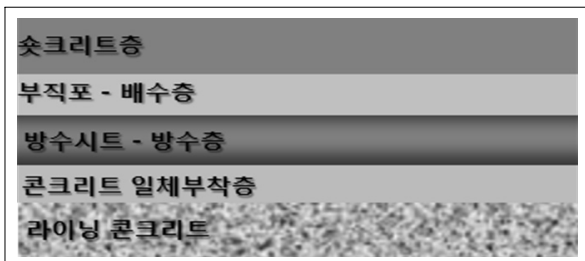


그림 4. 구획분리 방수 공법의 구성

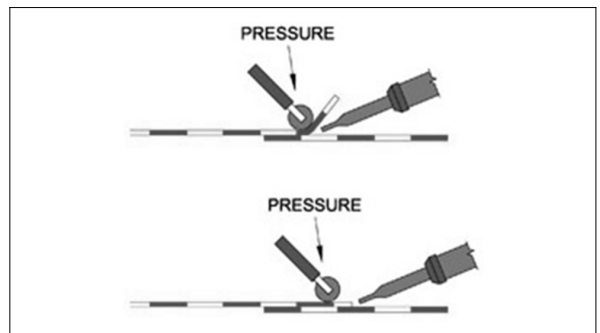


그림 5. 시트 접합부의 열용접

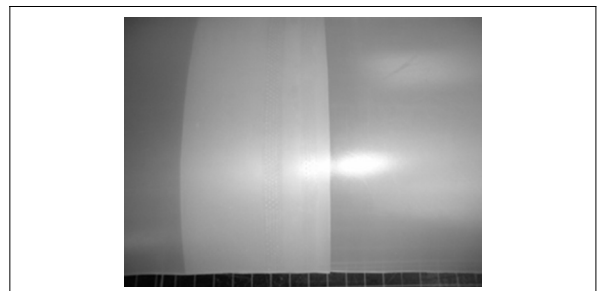


그림 6. VE시트의 접합부

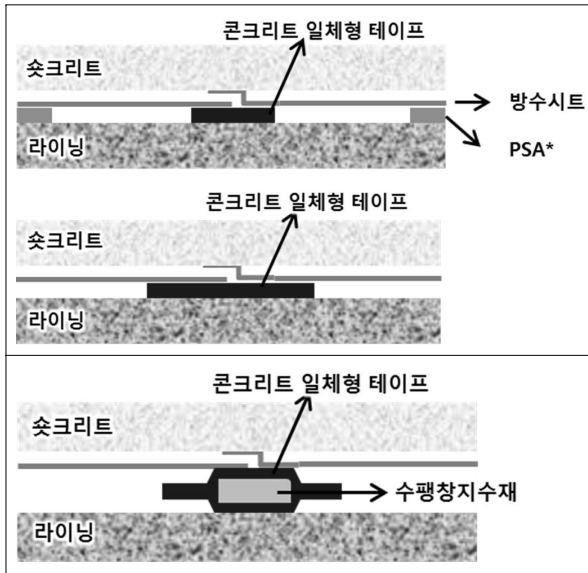


그림 7. 구획 분리의 여러 형태

합 부위에 이상이 없는지를 판단한다. 그러나 터널 누수의 70% 이상이 방수시트 접합부의 파손으로 인하여 발생한다. 이렇게 방수 취약 부위 중 하나인 방수 시트의 접합부를 보강하기 위하여 콘크리트 일체형 테이프가 사용될 수 있다. 콘크리트 일체형 테이프를 방수시트 접합부 위에 시공하여 방수층 열용접 부위를 보강함으로써 방수시트 접합부 파손 및 들뜸으로 인한 누수를 방지할 수 있다. 이러한 접합부 보강을 통하여 방수 시트 열용접 미숙으로 인한 접합부 누수 및 장기적인 사용으로 인하여 발생할 수 있는 방수 시트 접합부 탈락을 획기적으로 감소시킬 수 있다. 접합부 보강을 통한 누수 감소 및 구획 분리의 성능을 더욱 향상시키기 위하여 콘크리트 일체형 테이프와 수팽창 지수재를 결합시킨 워터스탑을 이용하기도 한다(그림 7).

터널에서 누수가 발생하였을 경우 콘크리트 균열 보수

공법과 배면 주입 공법을 사용하여 하자 보수를 행하게 된다. 터널 라이닝에 균열이 생겼을 경우 그 균열부위를 통해 방수층을 통과한 지하수가 터널 내부로 유입된다. 이를 방지하기 위하여 에폭시를 이용한 콘크리트 라이닝 균열을 보수한다. 또한 지하수가 터널 내부로 유입되는 것을 방지하기 위하여 우레탄폼이나 아크릴 수지를 터널 라이닝 배면에 주입한다. 배면 주입 공법의 경우, 일부분만 보수하는 것은 불가능하기 때문에 결국 방수 시트와 콘크리트 라이닝 사이의 전단면에 대한 배면 주입이 필요하게 된다. 이러한 터널 누수 보수 공법의 특성상 누수 발생 지점을 정확하게 파악하지 못하면 유지 보수 비용이 기하학적으로 증가하게 된다. 최근 5년간 터널에서 발생한 누수로 인한 유지보수 비용을 살펴보면 1m 당 평균 300만원이라는 많은 비용이 사용되었다. 이는 방수층을 통과한 지하수가 방수 시트와 터널 라이닝 사이의 공간을 자유롭게 이동하면서 누수 발생 지점을 정확하게 파악하지 못하고 누수가 터널 전단면으로 확산되기 때문이다. 구획분리 방수 공법은 기존 터널 방수 공법에서 발생할 수 있는 이러한 단점을 보완하며 누수 발생 확률을 낮출 수 있는 신공법이다.

5. 구획분리 방수 공법 개발

구획분리 방수 공법은 “구간 분리를 이용한 터널 방수 시공 방법(Method for compartmentalized tunnel water-proofing)”으로 2012년 7월 특허 등록되었다. 이 신기술을 이용하여 앞으로 지하철 터널, 도로 터널 등 NATM공법으로 건설될 터널의 누수 발생을 방지하고 누수 보수에 사용되는 비용을 획기적으로 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

■ 기계화 시공 기술위원회 회의

- 일 시 : 2012년 6월 14일(목) 18:30
- 장 소 : 한국터널지하공간학회 대회의실
- 참 석 : 김상환 (위원장), 김진하, 박진수, 이호성, 장수호, 하희상 (이상 간사), 고성일, 이성원, 임영덕, 임태정, 엄기훈, 최성찬 (이상 위원)
- 회의내용
 - 2012년 터널 기계화 시공기술 국제 심포지엄 관련
 - 기계화 시공위원회 발전을 위한 논의 등

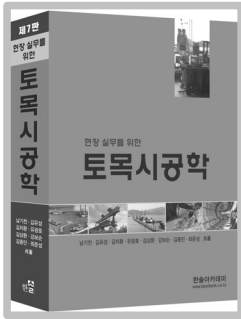
■ YE위원회 6월 회의

- 일 시 : 2012년 6월 26일(화) 18:30
- 장 소 : 한국터널지하공간학회 대회의실
- 참 석 : 장수호 (위원장) 외 11인
- 회의내용
 1. 인류와 지하공간(위상제고위원회) 1차 초안 검토 회의

■ 지하공간개발위원회 1012년 3차 운영회의

- 일 자 : 2012년 7월 26일(목) 18:30
- 장 소 : 한국터널지하공간학회 대회의실
- 참 석 : 이강주 (위원장), 황계돈, 전덕찬, 김동규, 한신인, 채성규, 안성울, 정재호, 이재환, 허도학
- 회의내용
 1. 지하도시 관련 주제(3) : Underground City Forum 2012 결과 전달 및 토의
 - Underground City Forum 2012의 목적 소개
 - The ITA Global Perspective Programme 소개
 - 주제발표 : Underground Space Resources and Sustainable Development of Urban Areas

신간소개



- 도서명 : 2013) 현장실무를 위한 토목시공학(제7판 개정 양장)
- 편 저 : 남기천
- 판 형 : 205*260
- 정 가 : 35,000원
- ISBN : 978-89-5591-782-6
- 발 행 : 2012년 8월 20일
- 페이지 수 : 970
- 서점 입고일자 : 2013년 8월 1일

머리말

토목기술은 지속적으로 대형화, 복잡화, 전문화되는 추세에 있으며 이에 따라 새로운 기술을 접목한 시공기술의 향상이 끝없이 요구되고, 특히 공사의 계획단계에서 설계, 시공, 유지관리단계에 이르기까지 전문적인 토목공학의 지식과 다양한 실무경험이 요구되고 있습니다.

본서는 초판이 발간되고서 6차 개정까지 이루어졌으나 지속적으로 적용되는 새로운 공법의 소개와 부족한 내용을 보완하기 위하여 개정을 하게 되었습니다.

토목시공은 대표적인 경험공학의 한 분야로서 다양한 현장의 경험과 지식이 필요하며 단순한 이론적인 접근으로는 효율적이고 성공적인 목적물의 완성이 될 수 없는 특성을 가지고 있다. 특히 시공분야는 계획, 설계를 현실화하는 단계로서 실제 현장의 지형, 지질, 시공환경, 사회 환경적인 제반 여건 등을 고려한 관련 기술분야가 모여 가치공학을 추구하면서 품질(quality), 공정(schedule), 안전(safety), 원가(cost) 등을 동시에 만족하는 목적물이 완성되어야 한다. 따라서 날마다 발전하는 새로운 재료, 건설기계, 공법 등에 관한 내용들을 충분히 이해하고 공사계획, 설계, 시공에 충분히 반영하여 보다 싸고, 빠르고, 안전하게, 우수한 품질의 목적물을 만들기 위한 노력이 계속되어야 한다.

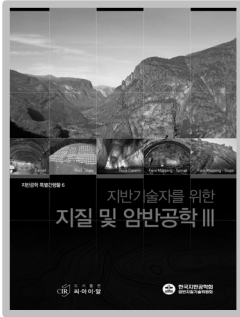
저자는 실무에서 겪어 온 미천한 경험이나마 토목 기술자들의 실무에 보탬이 되었으면 하는 마음으로 매우 방대하고 다양한 시공분야의 내용을 한 권의 책으로 완벽하게 전달하기에는 부족함이 많지만 앞으로도 지속적인 보완을 통하여 알찬 내용의 실무도서로 발전시킬 것을 약속드립니다.

이 책은 대학에서 토목시공학 교재로 활용할 수 있으며 특히 현장 기술자의 실무에 참고가 되고 토목기사 및 토목시공기술사 자격시험의 수험준비에 도움을 줄 수 있도록 구성하였습니다.

이 책은 주변에서 아끼고 격려해 주신 모든 분들의 따뜻한 도움이 있었기에 개정이 가능하였으며, 끝으로 개정판이 발간될 수 있도록 많은 노력과 열정을 베풀어주신 한솔아카데미 식구들에게 깊은 감사를 드립니다.

제7판 개정판을 내면서
2012년 7월
남기천 드림

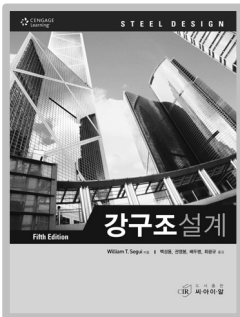
신간소개



- 도서명 : 지반기술자를 위한 지질 및 암반공학 III
- 저 자 : (사)한국지반공학회
- 출판사 : 도서출판 씨아이알
- 출간일 : 2012년 8월

최근 국토의 효율적인 활용을 위한 지하토목에 대한 관심이 증가하면서, 건설부문에서 지반공학의 중요성은 더욱 높아지고 있다. 한국지반공학회는 이러한 추세에 발맞추어 지반공학과 관련한 다양하고 폭넓은 기술분야의 활성화를 위해 노력하며, 그 노력의 일환으로 《지반기술자를 위한 지질 및 암반공학 III》를 발간하였다.

이 책은 지금까지 한국지반공학회에서 이뤄낸 기술적 성과를 소개하고, 앞서 발간된 시리즈 I, II의 내용을 추가 보완하여, 내용의 질을 높였다. 또한 지질 및 암반공학을 기초와 이론편 그리고 실제와 응용편으로 나누어 기초 이론과 다양한 적용사례를 들어 제시하고 있다. 최근 많이 논의되고 있는 Face Mapping에 대한 주제내용을 포함시켜 지반기술자들에게 실용적인 참고서가 될 것이다.



- 도서명 : 강구조설계 5판
- 저 자 : William T. Segui
- 역 자 : 백성용, 권영봉, 배두병, 최광규
- 출판사 : 도서출판 씨아이알
- 출간일 : 2012년 8월

이 책은 멤피스대학의 William T. Segui 교수가 2005년 AISC 설계기준을 근거로 하고, 최근에 개정된 2010년 AISC 설계기준 및 강구조편람의 개정된 내용을 반영하여 보완한 『강구조설계(Steel Design)』 5판을 번역한 것이다.

이 책에서는 강구조물의 하중저항계수설계법 및 허용응력설계법의 기본개념을 쉽게 이해가 되도록 명확하게 설명하고 있다. 또한 이론적인 배경 및 응용에 대한 제반 사항을 폭 넓게 기술하고 있기 때문에 공과대학의 토목, 건축 관련학과 학부학생들의 교재로 적합하며, 대학원생 및 강구조 분야 설계실무 종사자들에게는 좋은 참고서가 될 수 있을 것이다.