

셸드 세그먼트 터널의 방수

문상조((주)유신코퍼레이션 터널부, 상무이사), 장석부((주)유신코퍼레이션 터널부, 차장)

1. 서언

터널 방수측면에서 셸드터널은 세그먼트 라이닝의 특징으로 인하여 일반 현장타설 콘크리트 라이닝과는 큰 차이가 있으며, 국내에서는 시공사례가 적어 축적된 기술이 부족한 실정이다. 본 논문에서는 셸드 세그먼트 터널의 방수공법 종류 및 방수등급에 따른 적용공법의 종류를 소개하였으며, 국내외 방수 시공현황 및 문제점 분석과 시공개선사항을 수록하였다.

2. 셸드터널의 방수공법

2.1 일반

1) 셸드터널 방수의 특징

셸드터널 라이닝은 세그먼트 라이닝으로 대표되며 세그먼트는 터널의 구조적 기능과 더불어 방수기능을 담당한다. 일반적인 현장타설 콘크리트 라이닝의 방수작업은 터널굴진과 보강작업이 완료된 후에 별도로 수행된다. 반면에, 세그먼트의 이음부 처리, 배면채움 등으로 대표되는 셸드터널의 방수공사는 터널굴진중 세그먼트의 거치작업과 동시에 이루어진다.

따라서, 셸드터널의 방수품질은 방수재료의 성

능, 방수공법과 같은 방수공정 외에도 굴진과 세그먼트의 조립상태 등과 같은 모든 공정의 시공결과에 크게 의존한다. 특히, 허용오차 내에서의 정확한 세그먼트 조립은 구조적인 측면이나 방수측면에서 셸드터널의 전제조건이 된다. 셸드터널의 방수는 단일공법에 의존하기 보다는 소정의 방수성이 얻어질 때까지 누수를 점진적으로 감소시키기 위하여 여러 방법을 조합하여 적용하는 것이 일반적이다.

2) 방수공법 계획시 고려사항

모든 터널에서 방수공사는 과도한 비용과 시간이 소요되는 작업이지만, 셸드 터널에서는 다양한 제품 및 공법들이 중복되어 적용될 수 있으므로 경우에 따라서는 큰 부담이 되거나 만족스러운 방수품질을 확보하지 못할 수 있다. 따라서, 셸드터널의 방수공법 계획시에는 지반 및 지하수 조건, 셸드공법, 세그먼트 종류, 터널의 방수등급 등을 검토하여야 한다.

○ 지반과 지하수 조건

지반의 투수성과 지하수위는 터널내 누수에 절대적인 영향을 미치며 수압의 크기에 따라 적절한 방수방법을 적용하여야 한다. 어떤 조건에서는 지반 주입에 의하여 지반의 투수성을 개량시키는 것이 터널내부의 방수공사에 비하여 경제적이고 효과적

일 수도 있으며 부수적인 지반보강효과도 기대할 수 있다. 지하수에는 무기질, 유기질 및 기타 유기화합물이 함유되어 있기 때문에 이러한 성분이 세그먼트 자체의 재료열화와 대부분이 화학제품인 방수재를 열화시킬 수도 있다.

○ 쉴드공법 자체

쉴드기는, 지반조건에 따라 적절하게 선택하여야 한다. 연약지반에 중량의 쉴드기를 적용하면 자중에 의한 침하로 선형유지가 어려워지므로써 세그먼트의 정확치 못한 조립의 원인이 될 수 있다. 또한, 테일공극이 크고 배면주입시기가 늦으면, 지반봉락의 원인이 될 수도 있다. 슬러리 쉴드의 경우, 막장면을 지지하기 위하여 사용된 점토나 벤토나이트 성분은 지반에 침투하여 주변 지반의 투수계수를 감소시키므로써 방수성능을 향상시킬 수도 있다.

○ 세그먼트의 종류

세그먼트는 조립방법과 형상에 따라 이음부의 기하학적 형상 및 단면이 변화하므로 이에 적절한 방수방식을 적용하여야 한다. 세그먼트의 재료에는 크게 주철, 스틸과 콘크리트가 있으며 재질에 따라 방수재의 접착성에 큰 차이가 있으므로 이를 고려하여야 한다.

○ 터널의 사용성

터널은 사용성에 따라 방수등급이 결정되며, 한 등급의 방수등급 차이에 도 공사비의 큰 차이는 물론 공기에도 적지않은 영향을 미치므로 해당 방수등급에 따라 기본적인 방수공법들의 적용을 검토하고 시공결과에 따라 추가 방수공법의 적용여부를 결정하는 것이 합리적이다.

3) 국내 쉴드터널의 시공실적

국내의 쉴드터널은 1985년 한전에서 부산광복동 전력구에 적용한 이래 연약한 지반의 굴착공법으로써 그 적용이 늘고 있다. 최근에는 광주지하철에서

〈표2-1〉 국내 쉴드 시공실적

항목	전력구	하수구	통신구
시공개소	3	2	6
터널규격	∅ 3,280 ~ ∅ 5,030	∅ 3,350 ~ ∅ 2,140	∅ 2,850 ~ ∅ 3,500
Shield Type	EPB	EPB semi-shield	EPB
세그먼트 형식	bolt type 콘크리트 세그먼트		bolt type 콘크리트 세그먼트
내부라이닝	일부반영	반영	현장별로 상이
위 치	부산	부산	부산, 마산, 천안, 안산 등

직경 11m의 쉴드시공이 착수단계에 있으나, 시공실적은 〈표 2-1〉과 같이 주로 전력구, 하수구, 통신구 등과 같이 도심지의 낮고 연약한 지반을 비교적 작은 규모로 통과하는 터널이 주류를 이루고 있다. 쉴드형식은 대부분 토압식 쉴드이고 세그먼트 형식은 볼트조립형 콘크리트 세그먼트가 적용되고 있다. 내부 콘크리트 라이닝은 점차 배제하는 추세이다.

2.2 외국의 쉴드터널의 방수

쉴드공법이 개발된 영국과 가장 많은 시공실적을 가지고 있는 일본을 비롯하여 유럽과 미국에서는 쉴드공법의 발전과 더불어 다양한 방수공법들에 대한 연구 및 개발이 이루어지고 있다. 프랑스의 터널협회에서는 터널의 방수재와 방수공법 및 방수시험에 대한 연구가 학회차원에서 활발히 진행되고 있으며, 특히 세그먼트 라이닝과 관련해서는 세그먼트와 이음부에 대한 방수특성과 수팽창성 지수재의 개발 및 시방기준에 대하여 연구가 진행되고 있다. 이러한 나라들의 쉴드방수공법과 국내 쉴드터널 방수개념과 비교하여 두드러지게 차이가 나는 부분은 〈표 2-2〉와 같으며, 각 항목에 대하여 간단하게 소개하면 다음과 같다.

○ 터널의 방수등급

선진외국의 경우에는 지하구조물의 용도별로 방

〈표2-2〉 외국의 쉴드 터널 방수현황

	외국(독일, 일본, 영국 등)	국내
방수 등급 설정	• 터널의 사용성에 따라 설정	• 방수등급이 없이 완전방수기대
뒤채움 주입	• 동시주입 원칙 • 폼자갈 사용	• 설계는 동시주입으로 계획하나, 시공은 즉시주입이 이루어짐.
쉴드기 종류	• 지반상태에 따라 조정	• 토압식
유도 배수 시설	• 허용누수량에 따라 계획 • 완전방수터널에서도 계획	• 설계시에는 없으나 시공시에는 누수량으로 인하여 설치됨.
세그먼트 형식	주철 세그먼트 ↓ 콘크리트 세그먼트 ↓ 개스켓 부착식으로 발전	콘크리트 세그먼트
세그먼트 방수	접합부, 이음볼트공, 모서리, 홈, 씰(seal)재, 코킹, 상세 시공방안 제시	수팽창 지수재에 의존

수등급과 허용누수량이 대부분 지정되어 있기 때문에 완전방수 터널로 계획될지라도 허용누수량에 대한 배수처리를 계획한다. 또한, 터널용도에 따른 적절한 방수등급을 설정하여 품질확보기준의 명료화 및 방수공사의 경제성을 도모하고 있다.

○ 뒤채움주입

뒤채움 주입은 동시주입을 원칙으로 하며, 2~3링 후방에서 실시하는 즉시주입은 지반의 자립성이 양호한 경우에만 제한적으로 적용된다. 초기 뒤채움을 위하여 폼자갈이 사용되는 경우도 있다.

지하수압이 높은 곳에서 주입공을 통한 누수를 방지하기 위하여 일본에서는 테퍼 플라스틱 그라우트 플러그를 사용하기도 한다(그림 2-1).

○ 쉴드기

연약한 지반에서는 뒤채움 주입시기가 지연되면, 지반의 붕괴가 발생하기 때문에 독일과 미국에서는 〈그림 2-2〉와 〈그림 2-3〉과 같은 방식이 개발 및 적용되었다.

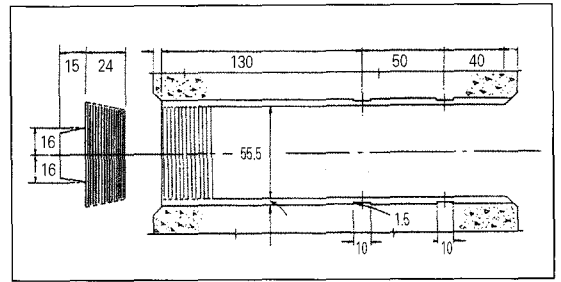


그림2-1. 뒤채움 주입공(孔) 설계(일본)

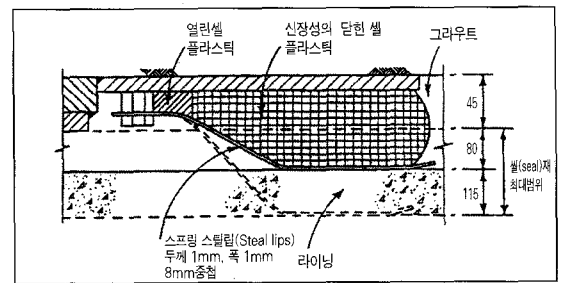


그림2-2. 독일사례

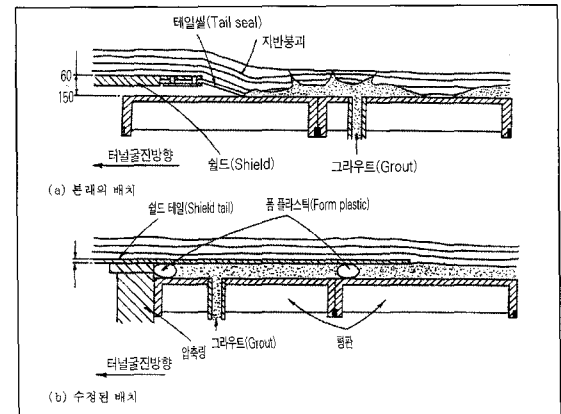


그림2-3. 미국사례(Washington D.C Metro)

○ 세그먼트 이음부방수

세그먼트 이음부는 수팽창성 지수재를 이용한 씰재 방수와 개스켓을 이용한 방법들이 있다. 이러한 방수방법은 실제 세그먼트의 조립조건 등을 고려한 상태에 대한 누수시험을 통하여 지속적인 개선이 이루어지고 있다.

○ 이음볼트공

이음볼트공을 통해 누수를 방지하기 위하여 볼트

공벽처리 및 볼트두부에 덧쇠(Grommet)를 삽입하는 방식들이 사용되고 있다.

2.3 국내 쉴드터널의 방수현황

국내 쉴드터널의 방수설계 및 시공현황을 항목별로 정리하면 다음과 같다.

○ 쉴드기기

국내 소단면 쉴드터널은 대부분 토사층과 풍화대층이 혼합되어 있는 지반조건에서 토압식 쉴드에 의하여 시공되고 있다.

○ 세그먼트 종류

세그먼트는 재질, 조립방법, 형상 등에 따라 다양한 종류가 있으나, 일반적인 쉴드터널에는 볼트조립식 평판형 철근보강 콘크리트가 사용되고 있다.

○ 뒤채움 주입

뒤채움 주입은 설계시에는 동시주입으로 계획하나 시공에서는 세그먼트의 주입공을 통한 즉시주입으로 시공되는 경우가 많다. 동시주입은 세그먼트 링이 스킨 플레이트에서 나오자마자 뒤채움 주입장비를 이용하여 뒤채움 주입을 하는 것이고 즉시주입은 2~3링 후방에서 세그먼트에 설치되어 있는 뒤채움 주입공을 통하여 주입하는 것이다. 동시주입에 비하여 즉시주입은 지반의 침하, 주입재의 막장침투 등이 발생하여 압력관리에 어려움이 있어 뒤채움 효과가 떨어지는 문제가 있다. 따라서, 지반의 자립성을 충분히 검토하여야 하나, 설계 및 시공계획단계에서 충분한 검토가 되지 않고 있다. 뒤채움 주입재의 수축, 쉴드추진에 의한 주입재 분리 등에 의한 뒤채움효과의 저하를 방지하기 위하여 세그먼트의 주입공을 통하여 2차 주입을 하고 있다.

○ 세그먼트 방수

세그먼트 라이닝 방수는 세그먼트 이음면에 홈을 설치하여 띠 형상의 씰(seal)재를 접착한 방식에 거

의 의존한다. 씰(seal)재는 국산 수팽창 지수재가 주로 사용되고 있으나 세그먼트 이음부의 방수특성을 특별히 고려하여 계획하기 보다는 일반 지중구조물의 방수와 동일하게 취급하는 경향이 있다. 설계도면에는 배면 주입구, 이음볼트공의 방수처리에 대한 상세가 없어 대부분 현장에서 대처하고 있는 실정이다. 수팽창성 지수재의 방수효과를 극대화시키기 위해서는 다음과 같은 특성의 재료를 선택하여야 한다.

- 쉴드기의 추력에 대한 압축성 및 복원성
- 세그먼트의 변형 및 높은 수압에 대한 수밀성
- 세그먼트 표면 및 씰(seal)재 상호간의 접착성
- 양호한 내후성, 내약품성, 내구성
- 세그먼트의 조립편차에 대한 수밀성 유지

○ 콘크리트 내부라이닝

콘크리트 내부 라이닝은 점차 적용되지 않고 있는 추세이다. 내부라이닝의 설치기준은 명확치 않다. 세그먼트로 마감한 터널에서는 케이블 거치를 위한 행거(hanger) 지지점이 세그먼트에 직접 설치되고 있다. 행거지지점은 터널공사가 완료된 후에 현장에서 만들어지기도 하나 설계단계에서 미리 계획하여 세그먼트 제조과정에 반영하기도 한다.

○ 배수펌프

누수 취약부인 수직구 구조물과 쉴드터널 라이닝 접합부에 대한 방수상세가 없거나 설계 자체가 시공성이 없어 현장에서 임시로 조치하는 경우가 많다. 수직구 집수정은 계획되어 있으나, 양수를 위한 펌프용량은 설비에서 반영하고 있다.

3. 국내 쉴드터널의 누수 원인 분석 및 개선을 위한 제언사례

3.1 국내 쉴드터널의 누수취약부위 및 원인분석
 <표 2-3>은 국내 쉴드터널 현장을 대상으로 현장

조사 및 문헌조사에 의한 누수의 취약부위 및 원인을 정리한 것으로서 주요 내용은 다음과 같다.

1) 세그먼트 이음부의 누수

○ 세그먼트의 조립과 지수재

세그먼트 이음부와 링간 이음부의 누수는 세그먼트의 뒤채움 부실과 지수재(씰재)의 기능성 부족에 기인하는 것으로 추정된다. 특히, 곡선부에서 누수가 빈번하게 발생하는데, 이는 곡선부의 정확한 굴착이 어렵고 테이퍼 링의 적용으로 직선구간에 비하여 조립오차가 크기 때문이다. 또한, 지수재 자체의 품질부족, 세그먼트의 조립상태를 고려하지 않은 지수재의 선정, 세그먼트 조립중 이음면에 부착된 지수재의 탈락이 원인이 될 수 있다.

○ 누수부 처리

이음부를 통하여 누수가 되는 경우에는 코킹, 포인팅(pointing), 누수덕트의 설치 등을 검토하여야 한다. 누수압이 낮은 경우에는 코킹이나 포인팅을 이용하여 누수부위를 처리하고, 소량일지라도 누수압이 높은 경우에는 누수덕트를 이용하여 배수구로 배출하는 것이 바람직하다. 그러나, 철드터널 현장에서는 누수압을 고려하지 않고 임시로 누수부위를

처리하는 경향이 있다.

2) 이음볼트 공의 누수

이음볼트공의 누수원인은 세그먼트의 부정확한 조립상태, 볼트 체결력 저하, 볼트공 주변의 손상 등을 들 수 있다. <그림 2-4>는 세그먼트의 불량한 조립상태에 의하여 이음볼트가 느슨하게 비틀린 상태를 보여주고 있다.

3) 뒤채움 주입공 주변

뒤채움 주입공 주변에 백태가 발생하고 습기가 차는 경우가 있다. 주입공 배면 주변은 가장 늦게 채워지기 때문에 다른 곳에 비하여 배면공극이 발생할 가능성이 높고 뒤채움 효과가 가장 낮을 가능성이 크다. 따라서, 세그먼트 면이 지하수와 직접 접촉하고 주입공벽을 통하여 누수가 발생하는 것으로 판단된다.

4) 작업구와 세그먼트 라이닝 접속부

작업구와 세그먼트 라이닝 접속부에서는 다량의 지하수가 집수정으로 유입되고 있는 경우가 많다. 이것은 작업구 주변 지반의 차수 그라우팅 부족과 두 구조물간의 방수방식의 차이를 고려하지 못한 누수방지 계획의 결여를 들 수 있다. 또한, 설계시 충분히 고려하지 않아 현장에서 임시로 조치하는 것도 한 원인이 될 수 있다.

<표2-3> 철드터널의 누수 취약부 및 원인 요약

취약부위	원인 추정
1) 세그먼트 연결부 (특히, 곡선부) 누수	<ul style="list-style-type: none"> • 세그먼트의 파손 또는 틈발생에 의한 씰재 및 코킹재의 방수효과 저하 • 씰재의 이탈 초래
2) 이음볼트공의 누수	<ul style="list-style-type: none"> • 볼트체결력 저하 • 이음볼트공 주변의 손상
3) 주입공 주변의 백태 현상	<ul style="list-style-type: none"> • 주입공 주변의 배면공극에 지하수 유입 • 지하수와 세그먼트의 직접 접촉에 의한 백태발생
4) 수직구와 실드 접합부 상,하부의 누수	<ul style="list-style-type: none"> • 세그먼트와 수직구 구조물과의 방수방식 차이 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 세그먼트는 자체이음부 방수 ▶ 수직구 구조물은 방수막(sheet) 방수 • 접속부의 기하학적 복잡성 ▶ 원형수직구와 원형 세그먼트 라이닝과의 접속

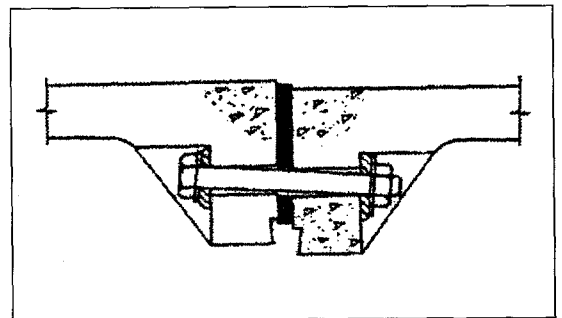


그림2-4. 세그먼트의 부정확한 조립에 의한 이음볼트의 체결상태

3.2 쉴드터널의 방수개선을 위한 제안사례

(1) 일반

○ 적용범위

국내의 쉴드터널은 대부분 토압식쉴드기에 의해 심한 풍화대나 토사지반에서 시공되고 터널 라이닝의 세그먼트는 볼트조립형 평판 콘크리트 세그먼트를 채택하고 있다. 따라서, 본 쉴드터널의 방수 계획은 볼트조립형 콘크리트 세그먼트를 대상으로 기술하였다.

○ 쉴드터널방수의 기본사양

쉴드터널의 방수는 세그먼트 이음부의 방수, 이음 볼트공의 방수, 뒤채움 주입에 의한 방수공이 기본적으로 적용된다. 쉴드터널이 정밀하게 시공된다면, 기본적인 방수공만으로도 거의 건조한 상태의 방수 효과를 얻을 수 있다. 즉, 쉴드터널은 기본적으로 정밀한 세그먼트 조립 및 거치작업이 이루어지도록 시공관리하여야 방수효과를 극대화할 수 있다.

(2) 쉴드터널 방수방법 계획

앞장의 누수원인 분석결과를 토대로 쉴드터널

의 방수방법의 개선을 계획한 사항은 <표 2-4>에 보이는 바와 같다. 표의 내용에서 각 방수방법의 특기사항은 다음과 같다.

○ 방수법 A (거의 건조상태가 요구되는 터널)

거의 건조상태가 요구되는 터널에서는 기본적으로 시공중의 뒤채움주입은 쉴드굴진과 동시에 주입을 시행하는 동시주입으로 시행되어야 한다. 또한, 누수취약부위는 철저히 코킹에 의한 방수처리가 적용되어야 하고, 세그먼트 표면의 결로 등을 방지하기 위해 세그먼트의 표면처리를 하여야 한다. 코킹방수에도 불구하고 특정부위에서 지속적인 누수가 발생하는 경우에는 우레탄계 주입공도 적용될 수 있다.

○ 방수법 B (실용터널)

실용터널에서는 원칙적으로 시공중의 뒤채움주입은 동시주입으로 시행되어야 하나 부득이한 경우 지반이 양호한 지역에서 쉴드 추진후에 주입을 시행하는 즉시주입을 실시할 수 있다. 다만, 즉시주입방법은 뒤채움 주입시기가 늦어지면 세그먼트를

<표2-4> 터널방법별 방수상세

방수공종	방수법 A(거의 건조)		방수법 B(실용 터널)		비고
	시행방법	비고	시행방법	비고	
세그먼트의 표면처리	전체면처리	상세 7	뒤채움주입공 주변 에폭시코팅	상세 5	볼트조립형 평판 세그먼트 기준
뒤채움 주입	동시주입 + 2차주입	상세 1	동시주입 원칙, 부득이한 경우 양호한 지반에서 즉시주입 기능 + 2차주입	상세 2	그림 2-5~2-7 참조
세그먼트 이음부 방수	2열방수	상세 3	1열 방수	상세 3	그림 2-8~2-9 참조
뒤채움 주입공	수팽창링 삽입후 패킹	상세 4	뒤채움 주입공 주변 에폭시코팅 및 패킹	상세 4	그림 2-10 참조
이음볼트공	패킹 또는 슬리브처리	상세 5	패킹 또는 슬리브처리	상세 5	그림 2-11~2-12 참조
누수부위	코킹방수	상세 6	수압이 높을 경우 유도배수	상세 6	그림 2-13~2-14 참조
수직구와의 접합부	2열방수	상세 8	1열방수	상세 8	그림 7.2.15 참조

안정시키지 못하여 쉴드잭의 추력에 의해 터널이 장주(長柱)로 작용되어 세그먼트에 변형을 유발시키거나 궤도가 이탈되는 피해를 입을수 있고 누수 취약의 원인이 되므로 시공에 주의를 요한다. 쉴드 터널은 선형이 벗어나는 경우 세그먼트 이음부에 누수가 발생할 수 있다. 이러한 누수지점은 반드시 코킹방수가 적용되어야 한다. 이러한 방수대책의 경우에만 약간의 물방울이 떨어지는 정도의 누수가 허용될 수 있다. 다만, 수압이 커서 코킹방수만으로는 완전한 방수시공이 어려운 경우에는 누수를 배수로 배출시키는 누수덕트를 누수지점에 적용할 수 있다. 이 때에는 배수용량의 적정성을 재검토하여야 한다.

(3) 방수상세

① 뒤채움 주입(상세 1,2)

쉴드기는 기본적으로 쉴드 굴진과 동시에 뒤채움 주입을 할 수 있도록 제작된다. 쉴드터널은 원칙적으로 동시주입에 의해 뒤채움이 되어야 세그먼트의 누수방지를 극대화 할 수 있다. 그러나, 주입설비(특히 테일셀, tail seal)는 시공되는 지반상태에 부합되도록 고안되어야 동시주입이 가능하고 세그먼트를 안전하게 위치시킬 수 있다.

〈그림 2-5〉는 국내 쉴드기에서 주로 채택되는 동시주입을 위한 부속설비이다. 그러나 이러한 설비 방법은 그라우팅 호스가 막히면 수리가 어렵고 암반지반에서는 훼손가능성이 큰 단점이 있어 정작 시공중에는 부속설비를 사용하지 않고 있다. 이로인해 국내 대다수 현장에서는 쉴드 굴진 후에 세그먼트 주입공을 통해 뒤채움을 하는 즉시주입을 시행하고 있다.

그러나, 즉시주입 방법은 지반상태를 고려하지 않고 적용하면 연약지반이나 느슨한 사질토에서는 지반이 침하되고 세그먼트링이 이동될 수 있다.

따라서 뒤채움주입은 쉴드굴진과 병행하여 시행하는 동시주입이 바람직하다. 국내 쉴드터널에서도 동시주입에 의해 뒤채움이 되도록 하기 위해서는

많은 연구가 필요하나 근래의 유럽, 일본 등의 개선사례를 토대로 쉴드기의 구매, 제작에 반영이 요구되는 사항을 정리하면 다음과 같다.

○ 테일셀(tail seal) (상세 1)

쉴드에서 세그먼트 배면공극을 채우는데 있어 테일셀(tail seal)은 가장 중요한 설비이다. 테일셀이 부실하여 주입그라우팅이 쉴드기내로 흘러들어와 주입압이 떨어지면 굴착토사나 지하수가 유입될 수 있다. 그러나, 쉴드굴진과 더불어 세그먼트의 배면공극을 동시에 채우면서 세그먼트 이음부를 1.5cm 이내의 오차내에 위치하게 하고 토압과 수압을 고려하여 주입압을 조절하는 것은 기술적으로 매우 어려움이 따른다. 이러한 문제를 해소하기 위해 근래에는 테일셀에 스프링을 장착하여 지반압력과 그라우팅압에 차이가 생기면 테일셀이 이동하거나 탄성거동을 하도록 하는 설비를 부착하고 있다. 그

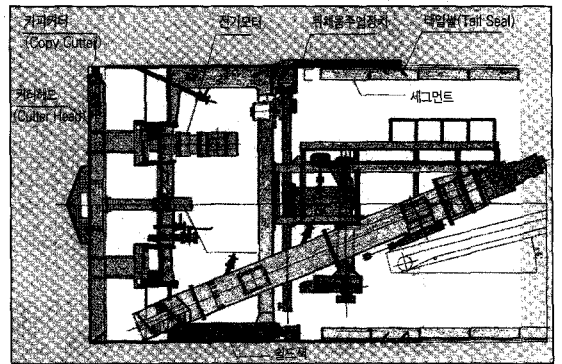


그림2-5. 국내 쉴드기기의 동시주입설비

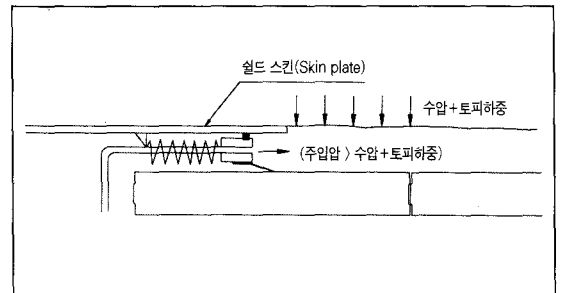


그림2-6. 동시주입설비의 개선안

개념을 소개하면 <그림 2-6>에 보이는 바와 같다.

○ 즉시주입에 의한 뒤채움 주입(상세 2)

즉시주입의 경우에도 굴진즉시 뒤채움주입이 가능하도록 쉴드기기가 계획되어야 방수효과를 극대화시킬 수 있을 것이다. 즉시주입은 일반적으로 쉴드굴진후에 2~3링 후방에서 주입공을 통해 주입하고 있으나 이 방법은 지반이 어느정도 양호한 경우에 적용될 수 있다. 쉴드굴진 후에 2~3링 후방에서 주입하는 방법은 뒤채움주입재가 쉴드기기 내로 유입되어 주입압력이 급격히 저하되거나 막장에 우회하여 막장토압을 상승시키는 경우가 많아 신중하게 적용되어야 한다.

<그림 2-7>은 쉴드굴진후 뒤채움 주입 전에 과도한 테일공극으로 인하여 지반이 붕괴위험이 있는 구간에서 쉴드기기내에서 즉시주입하는 방안으로서, 워싱턴 지하철에서 적용한 사례이다. 즉시주입에 익숙한 국내시공자에 유용한 방법으로 판단된다.

② 세그먼트 이음부 방수 (상세3)

이음부의 방수에는 쉘(seal)재 방수, 개스켓 방수에 의한 방법이 있다. 다만, 2열방수를 위해서는 세그먼트의 두께를 20cm이상으로 증가시켜야 할 것이다. 방수등급에 대한 방수방안은 다음과 같다.

- 방수법 A : 2열 쉘재방수(또는 개스켓 방수) + 코킹방수(세그먼트 제작시 코킹홈 설치)
- 방수법 B : 쉘재방수(가능하면 2열) + 코킹방수(누수부위로 제한)

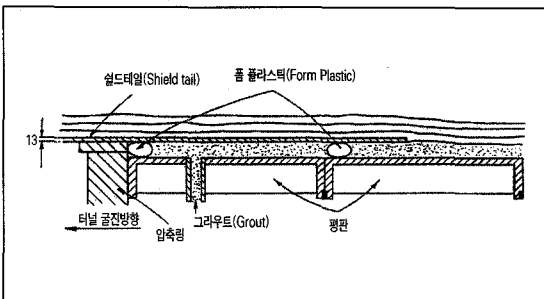


그림2-7. 즉시 주입방법의 개선안

○ 쉘(Seal)재 방수

쉘재에 의한 2열 방수는 <그림 2-8>과 같이 이중으로 쉘링홈에 수팽창성 지수재를 부착하여 방수효과를 얻는다. 일반적으로 쉘링홈 규격은 폭 20~30mm, 두께 2~3mm정도이다.

실용터널에서도 단면이 크거나, 심도가 깊어 구조적인 이유로 세그먼트의 두께가 충분히 확보된다면, 2열 방수를 적용하는 것이 바람직하다.

○ 개스켓(Gasket)에 의한 방수

근래에는 주로 일본과 독일에서 콘크리트 세그먼트의 이음부를 밀봉하기 위한 압축개스켓의 사용이 증가하고 있다. 개스켓은 정교한 단면형상을 하고 있으며 평평한 조인트 면이나 조인트 면에 있는 홈에 부착될 수 있다. 다만, 세그먼트의 저장, 운반 및 거치중에는 물론이고 링이 설치된 후에도 굴착 사이클 동안에는 개스켓이 보호되도록 세밀한 시공 관리가 요구된다.

일반적으로 이제까지 고안된 개스켓 방식은 성공적인 밀봉기능을 해왔으나 생산비용이 높고 작업면의 매우 청결한 조건과 더불어 세그먼트의 거치에 있어서 높은 정확도가 요구된다.

대략, 이 방식은 현재로서는 3m이상의 터널직경에 적합하다. 즉, 터널직경이 클수록 라이닝의 두

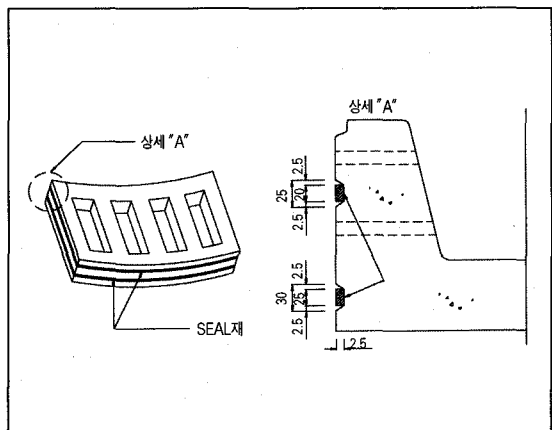


그림2-8. 쉘(seal)재에 의한 2열 방수

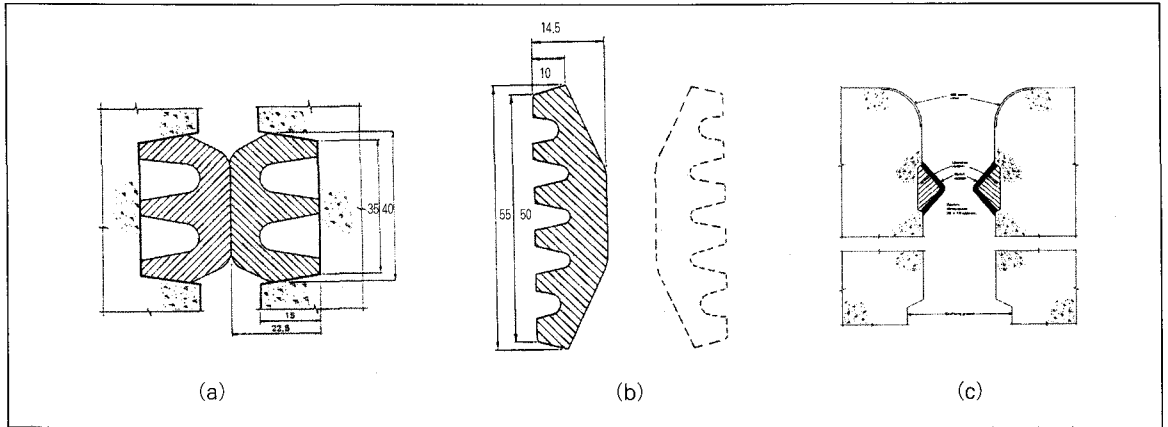


그림 2-9. 볼트조립형 콘크리트 세그먼트에 적용되고 있는 개스켓 종류

계가 늘어나 조인트 면적이 크기 때문에 제반 방수 재들을 수용할 수 있다.

최근의 적용사례에서 일반적으로 사용되는 재료는 다양한 정도의 고체형 neoprene, foamed neoprene, 부틸고무와 천연고무이다.

〈그림 2-9〉는 볼트조립형 콘크리트 세그먼트에 도입될 수 있는 개스켓 종류를 보이고 있다.

③ 뒤채움 주입공 처리(상세 4)

뒤채움 주입공은 세그먼트를 관통한 상태이기 때문에 적절한 처리를 하지 않는 경우에는 누수통로가 될 수 있다. 주입공 처리를 위한 방안은 다음과 같다.

- 방수법 A : 세그먼트 표면이 방수처리되어 있으므로 주입공내에만 수팽창링 설치
- 방수법 B : 주입공 주변(공경의 5~6배)을 에폭시로 표면처리하고 수팽창링 설치(〈그림 2-10〉)

④ 이음 볼트공(상세 5)

이음볼트공의 방수는 현장여건에 따라 아래와 같이 적절한 방안을 계획함에 바람직할 것이다. 〈그림 2-11〉은 볼트와셔와 볼트공 사이에 링 형태의 패킹재를 삽입하여 볼트체결력에 의한 패킹재의 압착에 의한 방수효과를 기대하는 방법이다. 〈그림 2-12〉는 볼트가 콘크리트와 직접 접촉하므로써 마

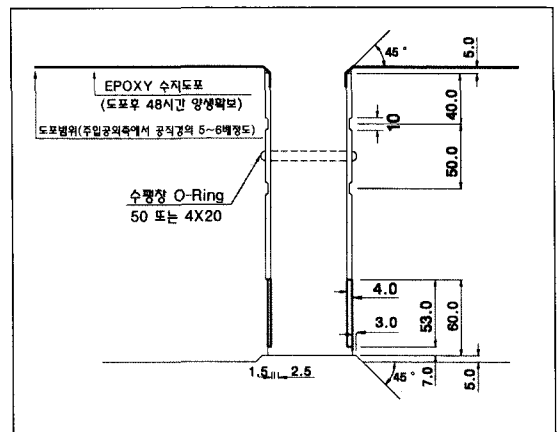


그림 2-10. 배면주입공 처리

모가 되거나 틈에 의하여 누수가 되지 않도록 한 볼트공벽의 슬리브(sleeve)방법이다.

⑤ 유도배수(상세 6)

유도배수구는 누수압이 낮은 경우 코킹으로 충전되어야 하나, 누수압이 높은 경우 누수를 배수구로 유도하여 터널내 설비 등을 보호하려는 것이다. 〈그림 2-13〉은 유도배수를 위한 누수덕트와 누수개스켓 예를 보여주고 있다. 누수량이 작은 경우 덕트개스켓 대신에 〈그림 2-14〉에서와 같이 커버플레이트로 덮는 방법을 적용할 수도 있다.

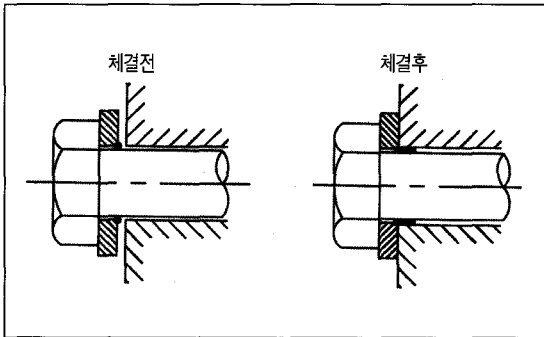


그림2-11. 이음볼트공 패킹처리방안

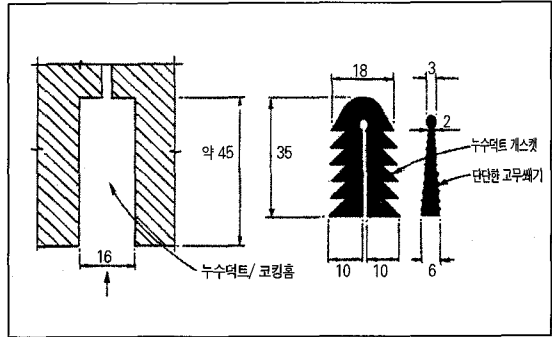


그림2-13. 유도배수 처리방안

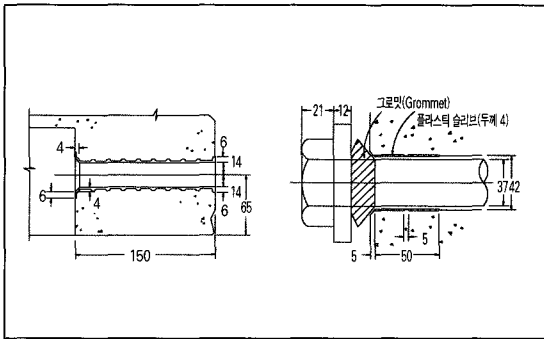


그림2-12. 이음볼트공벽 슬리브 처리방안

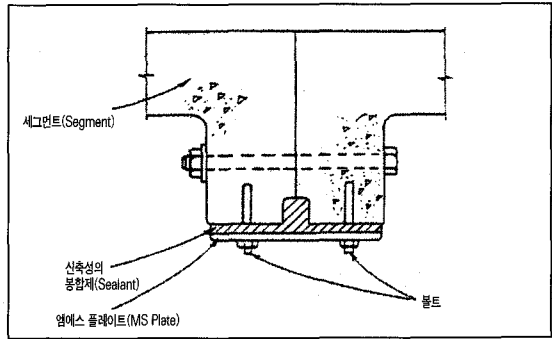


그림2-14. 이음부 코킹홈 처리방안

- 방수법 A : 코킹방수 또는 <그림 2-14> 적용
- 방수법 B : 코킹원칙, 단, 수압이 높은 경우에는 <그림 2-13> 적용

⑥ 세그먼트의 표면처리 (상세 7)

콘크리트는 어느 정도 투수성이 있기 때문에 세그먼트를 통한 침투수가 전혀 없을 수는 없다. 세그먼트의 운반, 거치 등의 과정에서 균열 등이 발생하면, 침투현상은 더 심해진다. 이러한 침투에 의한 누수위치는 대부분의 경우 탐지하기가 거의 불가능하다.

이러한 누수형태를 방지하기 위한 방법으로 세그먼트의 표면코팅 방법이 있다. 이 방법에는 표면코팅과 침투성 코팅이 있다. 표면코팅은 단순히 표면을 칠하는 방법이고 침투성 코팅처리 방안은 누수와 반응하여 세그먼트 표면을 침투한 후 단단한 불투수 결정체를 형성하는 방법이다.

세그먼트의 표면처리는 세그먼트의 운반, 취급, 거치작업중에 발생할 수도 있는 세그먼트의 손상방지에도 도움이 된다. 이 방법은 비용이 상당히 투자되어야 하므로 거의 건조가 요구되는 터널에 적용함이 바람직하다.

- 방수법 A : 세그먼트 전체표면의 방수처리
- 방수법 B : 뒤채움공 주변만 에폭시로 처리

⑦ 작업구와 세그먼트 라이닝 접속부 (상세 8)

현장조사결과 가장 시급하게 개선이 요구되는 누수취약부위는 작업구와 세그먼트 라이닝 접속부이다. <그림 2-15>는 현 시공재료를 토대로 작업구와 세그먼트 라이닝 접속부의 방수를 위해 계획한 방법이다.

방수방법은 방수쉬트 끝부분 공간을 분말형 수팽창성 지수재로 1차 방수하고 띠형 수팽창성 지수재를 세그먼트 라이닝 주변에 부착하여 2중의 방수효

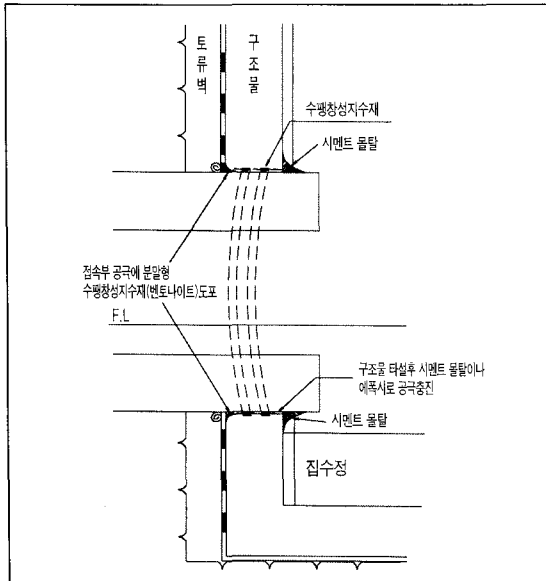


그림2-15. 작업구 구조물과 세그먼트 라이닝 접속부 방수상세

과를 도모한다. 하부는 구조물 자중에 의하여 세그먼트 라이닝과 수직구 구조물간에 틈이 발생할수 있으므로 수팽창성 지수재의 팽창재가 누출되지 않도록 틈이 있는 부분은 에폭시나 시멘트 몰탈로 충전하여야 한다. 거의 건조가 요구되는 터널에서는 수팽창지수재를 2열로 배치하여야 할 것이다.

4. 맺음말

최근에는 기존의 연약지반 대응 셸드에서 암반대응 셸드가 개발되어 적용되고 있으며 점차 단면규모와 지반조건기술의 발달에 따라 전단면 굴착기와 세그먼트 라이닝이 조합된 터널공법의 적용은 증가할 것으로 예상된다. 이미, 외국에서는 유러터널과 같은 대형공사에서 세그먼트 라이닝의 효과가 입증됨에 따라 세그먼트 방수에 대한 연구가 체계적으로 진행되고 있다.

이에, 본 논문에서는 세그먼트 방수에 대한 앞으로의 많은 연구성과를 기대하면서 국내외 관련자료

를 조사하여 세그먼트 방수에 관한 내용을 소개하였다. 끝으로, 본 논문의 내용은 한국전기통신공사의 통신구 터널의 방수설계 기술연구 성과 중 일부를 밝히며 지원에 감사드린다.

참고문헌

1. 이상덕(1997) "방배수 개념의 터널", '97터널 기술 Work Shop-II, 한국지반공학회 터널기술위원회, pp.71~142.
2. 한국전기통신공사 건설단(1997) 마산전화국 연결통신구 공사 실시설계보고서.
3. 한국전기통신공사(1998) 통신구 터널의 방수설계 기술연구.
4. 한국전력공사 제1건설처(1994) 345KV 당인리-중계 펌프장 전력구 공사와의 9건 공사 전문 안전 점검 용역 보고서.
5. 토목공법 연구회(1990) 셸드공법의 실제, 창우출판
6. CIRIA(1979) Tunnel waterproofing - Report 81.
7. Jaby, J.F., Mahuet, J.L. and Reith, J.L.(1998) "Improving of French specifications and techniques in waterproofing for underground works", Tunnel & Metropolis, Negro Jr & Ferreira(eds), Balkema, Rotterdam, pp.495~500.
8. Recharls, J.A.(1998) "General report: Maintenance and repair of underground structures", Tunnel & Metropolis, Negro Jr & Ferreira(eds), Balkema, Rotterdam, pp.477~488.
9. 日本鐵道施設協會(1983) シールドトンネルの設計施工指針(案).
10. 土木學會(1986) トンネル標準示方書(シールド編) 同解説.