

터널 외주피복공법(Wrapping)의 개발

- 대심도 지하 합리화 시공기술 -

전문연구위원 이상근

1. 서론

- 일본에서는 지하구조물의 시설이 폭주하고 있어, 지하터널의 건설이 점점 더 깊어지는 경향이 있으며, 이러한 경향을 반영하여 실드공법이 도시 지하터널 건설의 주류를 이루고 있다.
- 또한 2001년 4월에 「대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법」을 시행하여, 지하 심부를 공공적 목적으로 이용할 때는 개인의 사유권을 제한함에 따라 이러한 경향은 더욱 두드러지고 있다.
- 그러므로 지금까지 실드공법의 과제 가운데 하나인 대심도의 지하수 압력에 대응하기 위한 「지수기술」이 대두하고 있으며, 심도가 깊어짐에 따른 염분의 증가로 인하여 철근과 콘크리트의 부식을 촉진하는 환경 하에서 세그먼트의 열화를 방지할 수 있는 기술의 개발이 필요하다.
- 일본의 Daisei건설(주)이 개발한 터널 외주피복공법은 세그먼트의 외부 둘레 전체를 두께 2mm이상의 폴리에틸렌으로 된 방수시트로 덮어, 물과 흙이 세그먼트와 접촉하는 것을 차단하는 공법으로서, 지수성과 내구성이 뛰어난 실드터널을 구축할 수 있다.

2. 터널 외주피복공법

- 방수시트
 - 이 공법에 사용하는 방수시트는 시공성, 용착성, 내구성, 경제성, 실제 등을 검토하여, 각종 요소실험을 수행한 결과, 두께 2mm 이상의 폴리에틸렌 시트를 사용하는 것으로 결정했다.

- 방수시트의 인장강도는 일본공업규격 JIS K 6773에 의한 시험방법으로 20℃에서 14N/m² 이상, -10℃에서 26N/m² 이상이며, JIS K 6252에 준거한 접합부의 파단하중은 10N/mm 이상으로 나타났다.

□ Wrapping장치

- 이 장치는 굴진·감기를 동시에 실시하는 시공기구, 방수시트 감기장치, 방수시트 고정장치 및 방수시트 용착장치로 구성되어 있다.
- 방수시트의 보호기구로서 스프레더의 회전을 방지하기 위한 Free Lock장치와 시트가 테일플레이트와 닿는 것을 방지하기 위한 시트보호기가 설치되어 있다.

□ 시공의 순서

- ① 기설 방수시트의 고정: 굴진을 시작하기 이전에 이미 설치되어 있는 방수시트를 방수시트 고정장치의 모루로 눌러 고정한다.
- ② 신설 방수시트의 준비: 세그먼트 바깥둘레 길이와 같은 길이의 방수시트 타래를 반입하여, 롤러에 고정한 후, 신설 방수시트 끝부분을 감기 팔에 건다.
- ③ 신설 방수시트의 감기: 굴진 개시와 동시에 선회장치에 의하여 모루에 따라 원통형으로 신설 방수시트를 감는다.
- ④ 원주방향 용착: 신설 방수시트를 실드가이드장치로 모루에 눌러서 원주방향 용착기로 이미 설치되어 있는 방수시트와 겹치는 부분을 용착한다.
- ⑤ 축방향 용착: 새로 설치된 방수시트의 겹치는 부분을 축방향 용착기로 용착한다.
- ⑥ 세그먼트의 조립: 굴착 및 방수시트의 감기 및 용착이 완료된 뒤, 방수시트의 안쪽에 세그먼트를 조립한다.

- ①~⑥을 하나의 주기로 하여 반복하여 실시함으로써, 세그먼트의 외부둘레 전체가 방수시트로 덮인 실드터널을 구축한다.
- 또 약 30m 간격으로 세그먼트 링 사이에 턱 모양의 격벽을 설치하여, 지수구간을 독립화함으로써, 만일의 누수 시에도 누수범위를 한정하고, 누수장소의 발견 및 보수를 용이하게 한다.
- 또 뒤채움재의 주입 시에는 세그먼트를 덮은 방수시트의 외측에 동시주입장치에 의해 수행한다.

□ 실증실험

- 개발된 Wrapping장치의 기능과 시공성을 확인하고, 품질검증을 실시하기 위하여, 직경 3,478mm의 실드 실험기기를 제작하여, 각 장치의 성능확인시험 및 실제 시공레벨에서 굴진·감기 동시시공과 세그먼트 조립의 연속시공을 실시하였다.
- 실험기의 제작에 있어서 좁은 공간에 Wrapping장치를 배치하는 데 있어서 유의한 사항은 아래와 같다.
 - 동조장치: 구조 및 제어방법
 - 모루: 사양
 - 고정장치: 사양, 고정력 및 표면재질
 - 실드가이드장치: 구조
- 방수시트의 접합방법은 여러 가지를 검토한 결과, 현장에서의 고속시공과 품질확보를 중시하여 웨지식 용착방법을 채택하였다.
- 용착기는 기설의 방수시트와 새로운 방수시트 사이에 웨지를 삽입하여, 압착롤러에 의하여 모루에 눌러 접합하는 구조로서, 선회링에 설치되어 있다.
- 방수시트의 접합부 강도는 접착속도, 용착온도, 압착력의 3요소에 의하여 영향을 받으며, 실험에 의하여 규격치인 접합부 강도 10N/mm 이상을 확보할 수 있는 범위가 넓다는 것을 확인하고, 최종적으로 다

음과 같이 결정하였다.

- 원주방향 용착: 용착속도 2.5m/min에 대하여, 용착온도 460~520℃, 압착력 0.6~1.0kN
 - 축방향 용착: 용착속도 1.0m/min에 대하여, 용착온도 370~430℃, 압착력 0.6~1.0kN
- 본 시스템의 각 기구, 장치에 대해서는 고정장치의 고정력 등이 다소 과도하게 설계된 점이 있었으나, 기본적인 구조나 사양에 문제가 없었다.
- 방수시트공사와 굴진의 동시시공을 검증하기 위하여 실험기기를 전진시켜 동시시공을 실시한 결과, 계획된 시공방법과 순서에 대응할 수 있다는 것을 확인하였다.
- 원통형으로 둘러싼 시트의 안쪽에서 실시하는 세그먼트의 조립에 있어서도 시트의 고정에 의한 처짐의 방지하여, 시트가 없는 상태와 거의 같은 시간에 조립을 할 수 있었다.
- 아울러 품질과 사이클시간에 대해서도 목표치를 만족하는 것을 확인하였으며, 실용화에의 전망을 얻었다.

□ 외주피복공법의 특징

- 이와 같은 외주피복공법에 의한 실드터널은 아래와 같은 장점을 지닌다.
- 터널의 장수명화: 터널을 물과 흙으로부터 차단함으로써, 구조물이나 갱내 설비의 장수명화를 달성한다.
 - 전체적인 비용의 절감: 고압수와 부식성 환경 하에서도 2차복공의 생략에 기여하여 공사비용을 절감한다. 또 지수성능이 높기 때문에 사용 중의 배수처리 등, 라이닝 비용이 절감되며, 구조물 및 갱내 설비의 열화를 억제하여, 전체적인 수명비용을 줄일 수 있다.
 - 지하환경의 보전: 지수성능이 높기 때문에 사용 후에 장기간에 걸쳐 지하수의 변동이나 지반침하 등의 환경에 대한 영향을 방지할 수 있다.

3.결론

- Daisei건설(주)은 2000년도부터 터널 외주피복공법의 개발에 착수하여, 시공기술을 확립할 수 있었다. 그 이후에도 아래에 제시한 바와 같이 적용범위의 확대, 품질의 향상 및 경비절감을 목표로 각종의 개량기술의 개발을 위한 조치를 취하고 있다.
 - 터널 외주피복공법용의 방폭시스템
 - 터널 외주피복공법용의 세그먼트
 - 개량형 시트 고정장치

- 이 공법은 대심도 지하를 효과적으로 이용하기 위해서는 꼭 필요한 기술이며, 실제 공사에 적용하여 실적을 쌓을 필요가 있다. 가까운 장래에 실증시공을 예정하고 있으며, 동시에 이 공법의 보급을 시도할 예정이다.

◁ 전문가 제언 ▷

- 일본에서는 대도시의 도심 지하는 지하철, 상하수도, 전력, 통신, 가스 등 많은 시설이 가득 차 있어, 급기야는 2001년 4월 「대심도 지하의 공공적 사용에 관한 특별조치법」을 시행하여, 지하 심부를 공공적 목적으로 이용할 때에는 개인의 사유권을 제한할 수 있도록 하고 있다.
- 일본은 일찍이 대도시 지하의 지하철공사나 전력구 공사에 실드공법을 이용해, 그 기술력이 높으나, 심도가 깊어질수록 지하수와 흙의 압력이 높아지고, 지하수 중의 염분의 농도가 높아져, 복공에 사용되는 철근 콘크리트제 세그먼트의 부식이 우려되고 있다.
- 이에 때를 맞추어 일본의 Daisei건설(주)은 세그먼트의 외부를 폴리에틸렌 방수시트로 덮는 이른바 외주피복공법을 개발하여, 실증시험까지 실시함으로써, 방수시트의 용착속도, 용착온도 및 압착력을 최적화하는 한편, 공법 자체의 유효성을 입증하고 있다.
- 우리나라는 아직도 대도시에서의 지하철공사나 전력구 등의 공사에 있어서 특수한 경우를 제외하고는 개착공법을 많이 사용하고 있다. 그러나 경부고속전철이나 고속도로, 국도 등에서는 TBM과 NATM을 혼용하여 시공을 하고 있는 것으로 알려져 있으며, 일본과 같이 대심도 지하의 이용 필요성을 느끼고 있지 못해, 터널 외주피복공법이 도입되면 상당한 시일이 걸릴 것으로 보인다.