

터널작업의 안전

터널은 지반자체의 지지능력을 될 수 있는 한 활용하려는 갱도압 구조물이다. 그렇기 때문에 그의 설계·시공을 위하여, 목적, 지반조건, 환경조건에 적합한 방법을 선정하고 터널 주변의 지반조사 시험을 하여 지반상태를 정확히 파악하고 그 결과에 따라서 지반을 평가·구분하여 굴착후의 지반의 거동이나 토압 특성을 예지한다. 이와 같이 터널작업 시작전부터 철저한 대비를 하는 것은 터널작업의 위험성을 반증하는 것이다.

터널작업의 안전 개개 목차

<이번호>

- 1 사전조사
- 2 공법선정
- 3 시공계획
- 4 터널공사의 작업안전대책

<다음호>

- 5 터널내 환기 및 조명 대책
- 6 터널내 소음 및 진동 대책
- 7 터널내 가연성 가스 대책
- 8 붕락 및 낙석재해

1. 사전조사

가. 조사목적

터널공사에 있어서 사전조사의 목적은 터널의 노선·설계·공법의 결정, 시공계획의 수립을 위한 기초자료를 확보하기 위한 것으로 공사의 전체에 지배적인 영향을 미친다.

따라서 지질조사는 지압·용수·고인 물·암석 등 굴착에 관한 사항을 명확히 할 수 있어야 하고, 또한 이 목적을 충분히 달성하기 위해서는 조사결과를

철저히 기록하여 활용할 수 있도록 하는데, 이는 터널의 계획노선에 따라서 평면과 종단면 2가지 지질도를 작성하여 조사결과가 일목요연하게 기재되어야 한다. 터널공사의 재해는 대부분 사전 조사의 미흡에 기인하는 것으로 공법의 부적절이나 설계변경의 사유발생 및 공사 중 문제발생으로 공사가 중단되는 사례까지 있다.

나. 조사사항

① 지질 및 지형

지질의 구조, 표층과 퇴적층, 지하자원의 분포 상태, 가스의 존재 유무 등

② 용수 또는 고인 물

용수 또는 고인 물의 유무, 지하수위의 위치, 수질 검사 등

③ 갈수

공사로 인해 영향이 미칠 범위 지역의 수위 현황, 지하수의 이용 상황, 우물의 유무 및 이용 상황 등

④ 기상

기온, 수온, 강우, 강풍, 홍수, 산사태, 적설량 등

⑤ 기타

문화재의 유무, 매설물 확인, 부지의 경계 확인, 교통량 및 교통사정, 소음 및 진동에 영향받을 시설의 유무,

논·밭·택지·임야·묘지·과수등의 현황

다. 조사방법

답사, 지형도·항공사진, 탄성파 탐사, 보링, 특수조사등

2. 공법선정

(1) 경암에서의 터널공사는 안전한 편이다. 그러나 암에 절리 및 균열이 많거나 풍화작용과 파쇄작용으로 약화되는 경우도 있어 인이하게 취급하면 위험하다.

또한 균열이 없고 견고한 경암은 발파 후 전면적으로 부석이 발생하여 낙반 또는 낙석 위험이 있으므로 이에 대한 대책을 충분히 검토하여야 한다.

② 연암은 굴착이 용이하나 지질의 변화와 용수에 대한 각별한 주의가 요망된다.

③ 연약지반에서는 표면수에 의한 지질변화로 과대한 토압이 발생하거나 지층의 경사 방향으로 편압이 생기는 경우가 많다. 그러므로 연약지반의 굴착은 비가 올 때는 중지하고, 또 굴착시에는 단면을 작게 하여 조금씩 굴착을 진행하며, 견고한 동바리의 설치와 복공을 빨리하도록 하여야 한다.

④ 팽창성 암석의 경우에는 굴착단면이 작더라도 동바리에 과대한 중압이 발생하여 동바리가 변형 파괴될 수 있으므로, 동바리의 충분히 견고한 설치를 고려해야 하며, 또한 압축에 가변성이 있는 동바리를 사용하면 좋다.

⑤ 단층의 경우에는 그 단층의 크고 작음에 관계없이 암석이 압쇄되어 연약한 지질이 형성된다. 또한, 단층은 투수성이 높아 물이 흐르는 통로가 되고 물이 모여 흘러 나오면 붕괴된다. 그러므로 단층이 큰 경우는 가능한 한 피하여 우회하고, 작은 경우도 면밀히 조사하여 대비책을 세워야 한다.

굴착 중 대형 단층을 만나면 굴착을 중지하고 시공

계획을 변경하되 물을 뽑아내는 터널을 설치하여 물을 유출시켜 본 터널에 지하수가 배출되지 않도록 조치하고 굴진을 진행하여야 한다.

⑥ 애추(崖錐 :벼랑이나 급경사면으로부터 풍화된 암석이 무너져 내려 반원추 모양으로 쌓인 것)의 경우에는 빗물이나 눈이 녹아 수분이 함유되며 중량이 증가되고 이것이 커지면 편압이 생겨 붕괴되므로 애추 부분에 터널을 설치하지 않도록 한다.

3. 시공계획

시공계획은 사전조사를 토대로 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

(1) 굴착방법 :터널 각부분의 굴착순서 및 시기, 발파 방법과 작업순서, 굴착기의 종류 및 형식, 굴착토사의 처리

② 동바리 :동바리의 종류, 동바리 설치의 작업순서 및 시기, 보강방법

③ 복공 :터널 거푸집 및 동바리의 종류, 동바리의 조립 및 해체순서, 콘크리트의 타설 방법

④ 용수의 처리방법

⑤ 환기, 조명 및 터널내 설비

⑥ 공정계획 및 안전관리 계획

⑦ 기타 터널 단면형태의 결정, 굴착량의 산출, 공구의 분할, 터널내 제설비 결정 등

4. 터널공사의 작업안전 대책

가. 시공일반

터널공사는 원칙적으로 설계 및 시공계획에 따라서 정확하고 신중히 시공되어야 한다. 시공 중에는 항상 지질·토압·용수·가스 및 부석의 유무를 관찰과 조사를 통하여 계측하고, 또한 터널동바리·거푸집 동바리 등 가설물 기타 공사용 설비에 대한 점검을 실시하여, 이 결과를 당초의 설계 또는 시공계획과 비교해서 재해예방을 위해 충분한 검토를 하여야 한다.

시공에 있어서 이러한 원칙을 철저히 해야 할 필요가 있는 사항은 다음과 같다.

(1) 굴착, 터널동바리, 거푸집동바리 등 작업에 있어서는 항상 작업자를 지휘하고 명령 및 감시할 수 있는 감독자를 지정하여 상호 긴밀히 협조함으로써 재해 예방에 노력하여야 한다.

위 감독자를 지정하여야 할 작업은 구체적으로 굴착작업, 터널 동바리의 조립 및 변경작업, 거푸집 동바리의 조립 및 해체작업, 버력반출작업, 지형 및 지질상태 점검작업, 동바리 점검작업, 화학류 취급, 발파작업, 각종 시공설비의 취급 및 점검 작업 등이 있다.

(2) 위의 작업은 현장기술자가 설계 및 시공계획과의 적정여부를 항상 확인하는 노력을 하여야 한다. 특히, 지질의 급변, 용수량과 탁도 및 용수 위치의 급한 변화, 터널동바리의 변형 등에 대하여 항상 주의하여야 한다.

(3) 점검 및 정비는 매일 수시로 실시할 것과 정기적으로 실시할 것을 나누어 지속적으로 실시하되, 정기적인 것은 매일 1회 이상 실시하고, 점검 및 정비일을 정하여 두는 것이 좋다.

나. 부석의 처리

(1) 부석은 터널공사에 있어서 재해발생의 가장 많은 원인임과 동시에 중대재해를 일으키는 주요인이 된다. 부석은 주로 발파 후 생기는 것, 굴착 후 시일이 경과되어 일어나는 것, 지진의 영향으로 발생하는 것 등이 있다.

① 발파 후의 부석

발파 후 가스가 제거되면 바로 이어서 터널 내부를 점검하고, 버력을 반출한 다음 부석을 제거하게 되는데, 버력의 반출작업에 앞서 부석을 제거하는 것이 바람직하다.

② 굴착 후 시일이 경과시의 부석

매일 1회 이상 점검을 실시하여 부석을 제거한다.

③ 지진의 영향에 의한 부석

지진이 발생한 경우에는 바로 점검을 실시하여 부석의 조기 발견과 대책을 세운다.

(2) 부석의 낙하위험에 대한 예방대책은 낙하위험이 있는 부석의 상황에 따라 Sheet Pile 또는 철망설치, 콘크리트 뿔기, Rock Bolt 등을 실시한다.

다. 용수의 처리

(1) 솟아나는 물(용수)과 고인 물을 미리 발견하는 것은 공사의 진척을 크게 좌우하게 되므로 사전 조사에 의해 예상되는 지점에 접근하게 되면 긴 구멍의 수평보링 등을 실시하여 세밀히 조사함으로써 조기에 발견하고 그 대책을 강구한다.

(2) 투수성이 큰 지반에서의 용수는 대규모 낙반의 원인이 되므로 동바리를 튼튼히 설치하고 즉시 복구하도록 한다.

뿐만 아니라 용수시는 용수의 위치와 양, 탁도 및 온도 등을 측정하여 그 변화를 조기에 정확히 파악하고 예상되는 상황에 따라서 대책을 검토하여야 한다.

③ 용수의 처리 방법은 다음과 같다.

- ① 터널 내에 배수구를 설치하고 용수를 적절한 방법으로 배수구로 유도하여 배수되게 한다.
- ② 물 빼기 터널을 별도로 굴착하여 수위를 떨어뜨린다.
- ③ 시멘트 또는 약액을 주입하여 물을 막는다.
- ④ 압축공기를 주입하여 물을 막는다.
- ⑤ 동결시켜 물을 막는다.

라. 터널동바리

(1) 지반하중

터널굴착 후 동바리 및 복공에 작용하는 하중을 지반하중이라 하며 이것을 터널토압 또는 지압이라고 부르기도 한다.

지반하중은 일반적으로 터널의 지질과 그 상태에

따라서 지배되며, 굴착 및 동바리 등의 시공기술에 대한 각종 요소의 변동에 크게 영향을 미친다.

지질상태와 관련된 요소는 결의 간격·방향 등 암석의 물리적 결합의 정도, 풍화·변질 등 암석의 화학적 결합의 정도, 지층의 간격, 사질의 정도 및 조합 형태, 점토질 및 광물의 종류·함유량, 지각변화·선행 하중 등 잠재응력의 크기, 지하수의 상태 등이다.

시공에 관련된 요소는 굴착 및 발파시의 여굴, 굴착과 동바리 설치 시간간격(늦어지면 지반이 느슨해짐) 동바리 시공의 정도, 동바리 강성의 정도, 용수처리 등이 있다.

이와 같이 많은 요소들이 복합되어 지반하중으로 작용하게 되므로 정량적으로나 정성적으로 정확히 터널의 각 지점의 토압을 예측하기는 곤란하다.

따라서 과거의 많은 경험과 지질 및 시공방법에 따라서 결정한다.

② 터널동바리의 선정

터널동바리는 목재, Steel Arch Support 및 Rock Bolt 등이 있다.

터널동바리의 선정 및 설계시 그 구조는 지질, 지층, 함수, 용수, 균열 및 부식의 상태, 터널굴착 단면의 크기, 굴착방법에 따라서 결정하여야 한다.

① 목재동바리

목재동바리는 전부재가 압축응력을 받는 경우에는 안전구조이나 편압 등 일부에 인장응력이 작용하는 조건이 되면 안정을 잃어 붕괴가 일어난다. 또한, 목재동바리는 목재받침을 하여야 하므로 이 작업 중 낙반재해가 많이 일어나고 시공시 많은 작업시간이 소요되며 작업공간이 협소하여 버력 반출과 복공작업 등의 능력이 문제된다.


② Steel Arch Support

Steel Arch Support는 목재동바리의 결점을 보완한 결과 유효하게 적용되고 낙반 재해도 격감하여 "Steel Arch Support의 채용은 만능이다"라고 과신

하는 경향이 있다. 그러나 이러한 과신은 Steel Arch Support에서 낙반재해의 원인이 되고 있다.

③ Rock Bolt

Rock Bolt는 지반에 천공하여 타입하는 특수볼트로서, 터널의 굴착면의 암석을 부착시켜 암석이 절리 및 성층면을 따라 국부적인 탈락이 일어나지 않도록 하고, 암석을 일체화시켜 아치작용을 하도록 하며, 부석의 낙하로부터 재해를 예방하는 목적으로 사용한다.

이른바, 터널공사는 설계와 시공계획에 따라서 정확하게 시공하고, 시공 중 항상 지질·토압·용수·가스·부식 등의 제반 사항에 대하여 지속적으로 관찰하며, 가설물의 점검 및 유지관리를 철저히 하여야 불의의 재해를 예방하는 것이 가능해진다는 것을 잊어서는 안될 것이다. 

〈다음호에 계속〉