



OO터널 안전진단 사례

이 경 북 우리 협회 토목진단부 대리

1. 서 론

본 안전진단 사례는 고속도로 확장공사 구간의 OO터널 갱구부 굴착공사중 내공변위 발생에 따른 안전성을 평가하고 보수·보강 대책을 제시하는 데 그 목적을 두었다.

본 안전진단방법은 진단대상 터널에 대한 현장조사(시공현황, 주변현황조사) 및 지질조사를 실시하고 제공받은 설계도서를 토대로 하여 터널에 대한 안전검토(FLAC 검토)를 실시하여, 터널 변위원인 및 기능적 안전성 평가를 통하여 보수·보강대책을 제시하여 터널구조물의 안전성을 확보하고 재해를 예방하고자 한다.

2. 현장조사

본 진단대상 구조물은 경상남도 창원시 북면 지개리 일원에 위치한 남해고속도로 내서-냉정간 확장공사 현장내 용강터널(2차선 쌍굴 1개소/상, 하 각 857m)로 진단구간은 상행선 STA 2+880 ~ STA 2+945(L=65m) 구간이며, 1996

년 3월 26일에 착공하여 2000년 12월 준공 예정이다.

본 현장내 용강터널 상행선은 97년 5월 착공하여 현재 상부 반단면은 갱구부로부터 약 90m가 굴착되었으며, 하부 반단면을 포함한 전단면 굴착은 갱구부로부터 25m가 굴착된 상태이다. 굴착패턴은 STA 2+880 ~ STA 2+892의 갱구부(L=12m)는 TYPE 6으로, STA 2+892 ~ STA 2+964(L=72m) 구간은 TYPE 5로 설계·시공되어 있다.

진단구간 중 STA 2+896 ~ STA 2+922(L=26m) 구간은 천단부 중심에서 좌측구간에 내공변위가 최대 50cm가 발생되었으며, 응급복구 상황으로 내공 하부반단면 채움 및 균열·침하부위를 SHOTCRETE로 타설하였고, 진단당시 STEEL RIB 반단면 폐합 및 STEEL SUPPORT로 지지하였고, 갱구부 사면 2단 소단과 3단 소단 사이의 균열부위는 mortal로 보강한 상태였다. 용강터널 주변의 주요 구조물은 상행선 갱구부로부터 수평거리로 약 87m 떨어져 사면 상부에 송전탑이 위치하고 있다.

막장면을 조사한 결과 주향은 N30° ~ 80°E 와 N30° ~ 80°W가 교차하고 있어 2개군으로 분류되나, N30° ~ 80°E가 주절리 방향으로 판단된다. 또한 상·하행선 터널 굴착구간의 주변 기반암은 화강암의 풍화대로서 심한 풍화작용을 받아 완전히 풍화되어 풍화토에 가까운 양상을 띠고 있으며, 갱구부 조사시 화강암층에 FAULT ZONE(단층대)이 관찰되고 점토가 충전되어 있는 것으로 확인되었다.

터널 갱구부는 편압을 받고 있는 상태로서 계공받은 계층자료에 의하면 4축선 계층방식을 적용하여 터널 상반과 하반 그리고 양측면에 각각 1축점씩 총4축점을 설치하여 내공변위를 측정하였으며, 분석결과 내공변위가 수렴되다가 급작스럽게 변위가 증가한 것으로 확인되었다.

3. 안정성 검토결과

본 진단대상 구조물인 T.B.M 단선터널의 구조적인 안정성을 검토하기 위하여 수치해석 기법의 일종인 F.D.M(Finite Difference Method)해석방식인 FLAC해석법을 사용하여 검토하였으며 검토결과는 다음과 같다.

1) 주요지점 변위에 대한 검토결과

본 용강 터널해석 결과 지반이완이 없는 원지반을 분석하면 터널주변의 예상되는 변위는 천단침하량 2.346cm, 내공변위 0.554cm, 인버트 변위 0.3001cm 이나, 발파 또는 기타 외부하중을 지반이 받아 원지반이 이완되어 1차 지보재가 지반하중을 받을 경우는 파괴면을 따라 전단강도를 상실하여 터널은 붕괴된 것으로 검토되었다.

2) 슛크리트 응력에 대한 검토결과

본 터널 해석결과로 분석한 슛크리트의 응력 분포는 압축응력이 29.45kg/cm²로서 허용압축 응력 84kg/cm²과 비교할 때 안전한 것으로 판단되며, 발생하는 ROCK BOLT 축력도 3.91t으로서 ROCK BOLT 항복축력 20.268t과 비교할 때 안전한 것으로 판단되었다.

또한 발생하는 전단응력도 0.70kg/cm²로서 허용전단응력 3.623kg/cm²과 비교할 때 안전한 것으로 판단되나, 지반하중을 받아 파괴면을 따라 전단강도를 상실할 경우 슛크리트 파괴 및 ROCK BOLT가 인발되는 것으로 검토되었다.

4. 변위발생 원인 및 안전성 평가

1) 변위발생 원인

본 진단대상 용강터널 시점부 상·하행선 굴착구간 주변은 모암의 구조를 갖는 풍화토 구간으로 점토광물을 포함하는 FAULT ZONE(단층대)이 존재하나, RQD에 의한 지보기준은 절리 사이에 점토의 얇은 층을 함유하는 암석 또는 풍화암의 경우에는 적용성에 한계가 있다.

또한, 계층자료 분석결과 최대 50cm의 내공 변위가 발생되기 전에 변위는 수렴되고 있었으나 외력에 의한 갑작스런 파괴가 유발된 것으로 판단된다.

따라서, 이러한 FAULT ZONE(단층대)의 점토층이 편압을 받고 있는 상태에서 터널공사로 인한 주변지반 거동, 침투수 및 하행선 발파 진동 등의 외력이 복합적으로 작용하여 상행선 터널 측벽에 50cm 정도의 변위가 발생된 것으로 추정된다.



2) 안정성 평가

본 터널은 지표면까지 큰 변위가 발생된 것으로 판단할 때 터널주변의 작용응력이 균형을 잃은 상태에서 터널 단면의 안정성을 유지하기 위하여 별도의 보강작업을 수행하여야 한다.

또한 이러한 터널의 측벽 내공변위량은 터널 이용 목적을 원활하게 유지하기 위한 변형여유량을 고려할 때 허용편차(변형여유량에 시공상 피할수 없는 오차를 합한 값) 이상으로 계산되므로 특수공법 및 보조공법을 이용하여 보강 후 원설계 단면으로 회복시켜야 할 것으로 사료된다.

5. 보강대책

본 터널은 다음의 2가지 방안으로 대별될 수 있으며, 보강안 중 현장 여건을 감안하여 1가지 보강안을 선택하는 것이 바람직하다.

1) 제1안 - 현 상태에서 지반보강 (강관2단+1단 GROUTING)

본 용강터널 검토구간은 변위발생구간의 지반 하중을 고려하여 강관2단으로 보강하는데, 1단(상단) 내부에는 GROUTING을 실시하여 지반을 고결시키고, 2단(하단)은 주입재로 충진을 하여 강관의 강성을 높이며, 지표면 균열부는 GROUTING 등으로 외수침투를 차단하여 보강하는 방법으로 다음과 같은 장점이 있다.

(1) 본 용강터널의 변위발생 구간은 내공변위 위치에서 새로운 지보 SYSTEM이 적용되므로, 강관 및 약액주입에 의한 지반고결 및 지반안정화를 시킨다.

(2) 현 사면구배를 유지하므로 송전탑과 무관하며, 하행선은 정상적인 공사수행이 가능하다.

또한 표준지보패턴 TYPE-6 과 유사한 공법의 적용이 가능함으로 신속한 보강작업 수행이 가능하다. (steel pipe 구조검토 참조)

2) 제2안 - 개착식 보강 (OPEN CUT)

본 보강안은 용강터널의 상부 사면을 안전구배로 절개하여 보강하는 방법으로 가장 확실하고 시공 후 추가 보강 등은 필요하지 않다.

(1) 본 보강안은 다량의 굴착토량이 발생하는바, 이에 따라 원지반이 느슨해 질 우려가 있으며, 사면의 경사가 급해지므로 별도의 사면안정성 검토가 필요하다.

(2) 기 공사된 부분이 무효화되는 경제적 손실 발생 및 진행방향으로 볼 때 상행선 터널의 중간부분에 변위가 발생 되었으므로, 양쪽 변위가 수렴된 부분에서 3차원적으로 응력배분이 이루어지나 한쪽을 철거할 경우 응력배분의 변화가 유발되므로 현 지반변위부의 보강을 실시한 후 내공변위가 발생한 부분까지 절취(OPEN CUT)하여야 한다.

또한 하행선 터널에 하중변화가 유발되므로 하행선 터널의 안전율이 적어질 수 있으며, OPEN CUT 수행시 하행선 터널 굴진작업에 지장을 초래할 수 있다.

(3) 본 용강터널 풍화토층의 굴토높이가 28M 내외로 안전구배로 절개할 때 터널 상부의 송전선 탑에 유해한 영향을 미칠 것으로 판단되므로 이에 대한 보강이 요구된다.

6. 보강안에 대한 검토

본 보강안에 대한 검토는 상기 2가지 방안 중 제1안으로 현상에서 강관2단으로 보강하는데, 1단(상단) 내부에서는 GROUTING을 실시하

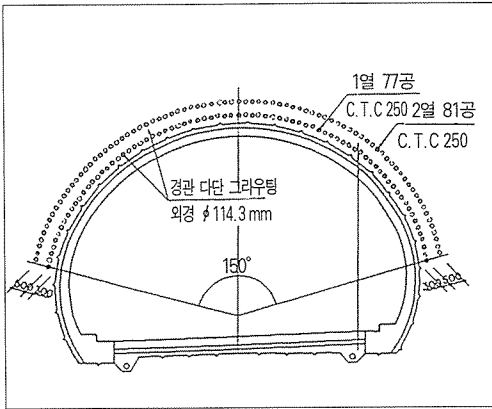


그림 1. 보강 정면도

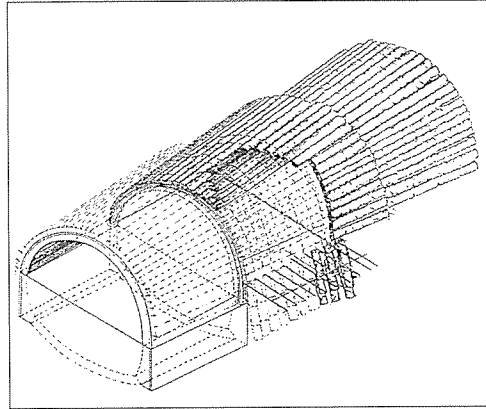


그림 2. 개략 시공도

여 지반을 고결시키고, 2단(하단)은 주입재로 충진을 하여 강관의 강성을 높이며, 지표면 균열부는 SHOTCRETE 등으로 보수하여 외수 침투를 차단하여 보강하는 방안에 대하여 검토하였고 검토결과는 다음과 같다.

- PIPE 호칭 : D 100mm (바깥지름 : 114.3mm) 사용
- PIPE C.T.C : $2.5 \times D$ (28.575 cm \approx 25.0 cm)
- PIPE 경사각도 : 4° 이내
- PIPE 중첩길이 : 3m 이상
- PIPE의 배치각도 : 150° 범위

상기와 같이 보강할 경우 휨응력이 1981.485 kg/cm²로서 허용응력 2100kg/cm²과 비교할 때 안전한 것으로 검토되며, 작용전단 응력도 174.46kg/cm²로서 허용전단 응력 1200kg/cm²과 비교할 때 안전한 것으로 검토된다.

8. 결 론

본 용강터널의 보강방법은 제1안과 제2안을 검토한 결과 제1안의 보강방법을 추천하며, 제1

안과 같이 보강시 다음사항에 유의하여 시공하는 것이 바람직하다.

1) 본 터널 변위 발생구간은 풍화암 구간이나 풍화상태, 균열대를 감안할 때 토사구간으로 간주하여 철근 CON' C LINING 설치 및 INVERT부의 폐합이 요망된다.

2) 터널 갱구부의 상부 사면에 발생한 CRACK 부위는 지표수가 유입되지 않도록 하는 지표면 처리가 필요하다.

지표수의 유입은 토립자의 유효응력이 감소되고 토립자의 점착력을 감소시킴으로서 원지반의 전단강도를 감소시키며, 지표수가 터널단면의 부가응력으로 작용할 경우에는 터널의 안정성에 유해한 영향을 미친다.

따라서 지표수의 유입을 차단하기 위해서는 사면 절취부에 슛크리트로 피복시키는 것이 바람직하다.

3) 본 용강터널 상행선의 변위 발생부위는 보강작업 후에도 지속적인 계측 및 관찰을 하여야 하며, 이상 변위 발생시 전문가와 협의하여 조치하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.