

NATM터널 저토피 구간에서의 막장붕락 사례연구

백기현^{1)*}, 노종륜¹⁾, 김용일¹⁾, 조상국¹⁾, 황낙연¹⁾

Case Study on the Tunnel Collapse at the Shallow Depth

Ki-Hyun Baek, Jong-Ryun Roh, Yong-Il Kim, Sang-Kook Cho and Nag-Youn Hwang

Abstract ○○ tunnel that is located at Iksan - Jangsu freeway ○○, has collapsed during construction at the valley with shallow depth. Although, the site investigations, such as TSP, drilling exploration and so on, indicated the presence of discontinuities in this section. The RMR was upgraded and the construction were carried out because that not only actual rock qualities were relatively good during construction but also the tunnel face was stabilized. However, the tunnel was collapsed at the same time blasting of full face, and surface and underground water was infiltrated due to the settlement of the upper part of the tunnel face. To restore the collapsed section, 3-d tunnel stability analysis was performed and suitable reinforcement methods were chosen. The cavity of the upper tunnel face was stabilized by means of UAM and ALC injection. And the settlement was restored using L.W grouting method.

KeyWords Shallow depth, Tunnel collapse, TSP, Reinforcement

초 록 익산-장수 고속도로 ○○공구에 위치한 ○○터널 저토피 계곡구간에서 시공 중 붕락이 발생하였다. 본 구간은 TSP 탐사 및 시추조사 등을 통해 불연속면이 예측되었으나, 굴착 중 실제 암질이 비교적 양호하고 막장이 안정되어 암반 등급을 상향 변경하여 시공하였다. 그러나 굴착 중 발파와 동시에 붕락이 발생하였으며, 터널 막장 상부 8 m 부분의 붕락과 함께 지상 구간의 침하에 따른 계곡수 및 지하수 유입으로 진행되었다. 붕락구간 복구를 위해 붕락원인 분석, 보강공법의 선정 및 3차원 터널 안정성 해석을 실시하였고, 막장 상부 공동부는 팽창성 경량 콘크리트로 충전 후, 강관다단 그라우팅 공법으로 안정화시키고, 터널 상부 지반 침하부에서는 계곡수로 이설 후, 시멘트밀크 그라우팅 공법에 혼용된 약액 그라우팅 공법으로 지반보강 및 차수를 실시하였다.

핵심어 저토피, 터널붕락, TSP, 터널보강공법

1. 서 론

익산-장수 고속도로 제 ○○공구에 위치한 ○○터널은 2차로 병설터널로 전 구간 NATM 공법으로 계획되었다. 본 터널의 시공 중 발생된 붕락 구간은 저토피 계곡구간으로 당초 Type-F3으로 설계되었으나, 실제 암질이 비교적 양호하고 막장이 안정되어 암반정 후 Type-3으로 상향 변경하여 전단면 굴착 중 STA. 2+398 지점에서 발파와 동시에 붕락(지표면에서 깊이 3 m, 폭 6 m 함몰)이 발생하였다.

본 구간은 TSP(Tunnel Seismic Prediction) 탐사 및 시추자료 등을 통하여 위험성이 예견되었으나, 시공 중

막장면의 상태가 양호하다고 판단하여 굴착을 진행하던 중 붕락이 발생하였으며, 터널 막장 상부 8 m 지점 지반의 붕락과 함께 지표의 침하에 따라 계곡수 및 지하수가 유입되었다. 따라서 ○○터널의 붕락원인을 규명하고 3차원 터널 안정성 해석을 수행하여 적절한 보강대책을 수립하였다.

붕락구간에 대한 복구는 터널 상부와 막장부로 나누어 실시하였다. 막장부 붕락으로 생긴 공동부는 팽창성 경량 콘크리트로 충전 후 강관다단그라우팅 공법으로 안정화시켰고, 터널상부 지반 침하부에는 먼저 계곡수를 이설한 후, 시멘트밀크그라우팅 공법에 혼용된 약액 그라우팅 공법으로 지반보강 및 차수를 한 후 잔여 구간을 안전하게 시공할 수 있었다.

¹⁾ (주)대우건설

* 교신저자 : bkh@dwconst.co.kr

접수일: 2005년 4월 8일

심사 완료일: 2005년 4월 25일

2. 지형 및 지질 특성

2.1 지형 특성

본 지역은 행정구역상 전라북도 장수군 천천면 춘승리에서 전라북도 장수군 계남면 호덕리를 잇는 구간에 속하며 남북방향으로 협준한 산악지형과 구릉지대로 이루어져 있다. 본 지역의 산계는 노선 남측에 봉화산(786 m), 법화산(698 m), 북측능선으로서 방아재(675 m)를 잇는 능선을 가로지르도록 북서에서 남동방향으로 계획되어 있다. 수계는 노선의 산지를 중심으로 서쪽과 동쪽에 2개의 하계망을 형성하고 있으며, 금강이 이전 공구 노선에 있으며 장수군 천천면을 가로질러 남북방향으로 흐르고, 유천이 노선 종점부 70 m 폭으로 노선의 남에서 북쪽방향으로 흐른다. ○○터널 노선 2.55 km 부근에 2개의 계곡부가 있으며, 전기 시에는 바닥이 드러나나 우기 시에는 수계가 형성되는 모습을 나타낸다.

2.2 지질 특성

본 지역의 분포지질은 선캠브리아기(시생대-원생대)의 퇴적기원인 석회질 각섬석 흑운모편마암(Hornblende Biotite Gneiss)과 이를 관입한 화강편마암(Granite Gneiss)이 기반암체를 이룬다. 중생대 초기의 조립질 화강암체가 장계-장수 지역에서 함양까지 넓게 걸쳐 관입하여 분포하며, 특이 사항으로는 섬록암맥이 비교적 큰 규모로 화강암, 편마암류의 경계를 따라서 산출되고 있다는 것이다. 편마암은 주로 조사지역 서부에 분포하며, 주라기 화강암은 동부에 분포하고 있다.

지반조사 결과 파쇄대가 존재할 것으로 예상되었던 익산방향 STA. 2+350~2+492에 대하여(Fig. 1) 좀 더 정확한 지질 정보를 알아보기 위하여 TSP(Tunnel Seismic Prediction)탐사를 실시하였다. 송신점으로는 굴진 방향 오른쪽 벽면에 24개를 설치하였고, 수신점으로는 공내삽입식 3성분 센서(좌1개, 우1개)와 벽면부착식 3성분 센서(좌1개, 우1개)를 설치하였다.

탐사결과 STA. 2+373과 STA. 2+410 지점에서 불연속면이 발견되는데 이는 계곡부에서 존재하는 파쇄대

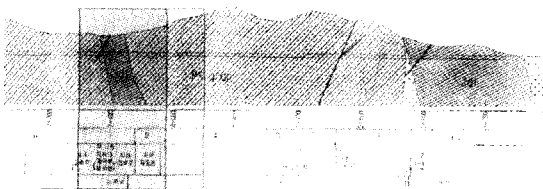


Fig. 1. Section of TSP

와 암반의 경계에서 반사되어 나타난 것으로 판단된다. 본 구간은 터널고와 지반고의 차가 작으며, 파쇄대가 존재하고 계곡부에 위치하고 있어서 암질이 나쁘고 용수의 발생 가능성이 매우 높은 것으로 판단되므로 막장 관찰을 통해 이상 발생 시 특별한 보강대책 마련 등 각별한 주의가 요구되는 것으로 나타났다(Fig. 2, Fig. 3).

3. 터널 붕락발생

3.1 붕락현황

터널의 붕락이 일어난 지점은 ○○터널 장수방향 STA. 2+398(중점에서 시점방향으로 572 m 굴진)지점으로(Fig. 4), 설계시 조사된 붕락구간에 대한 지질조사 보고서에 의하면 본 붕락구간은 계곡부에 위치하는 저토 피구간이고 물리탐사 결과 일부 차별 풍화된 소규모 단층대가 존재하는 것으로 예상되어 지보패턴-F3으로 설계되어 있었다. 그러나 실제 터널붕락구간 전후 매 막장에 실시한 막장관찰기록에 의하면 붕락 발생구간 전후 암반이 전반적으로 매우 양호하게 분포하는 것으로 평가되어(Fig. 5) 설계 변경하여 지보패턴-I, 지보패턴-II로 시공하였다.

또한, 붕락구간 직전의 막장면도 암질이 양호하고 암

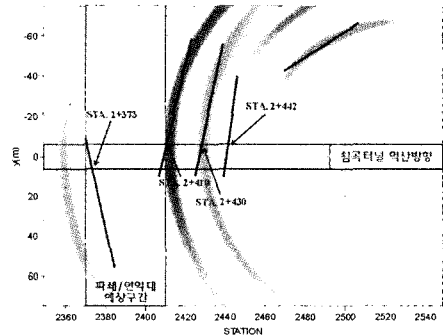


Fig. 2. Result of TSP(the plane figure)

송신점	STA. 2+373	STA. 2+410	STA. 2+442	참조터널 역산방향						
수신점				참조터널 역산방향						
지질특성	파쇄/연약대 예상구간			이차 불연속면						
지보패턴	IV	V	F3	V	IV	III				
구간	2+360	2+380	2+400	2+420	2+440	2+460	2+480	2+500	2+520	2+540

Fig. 3. Prediction point of discontinuity

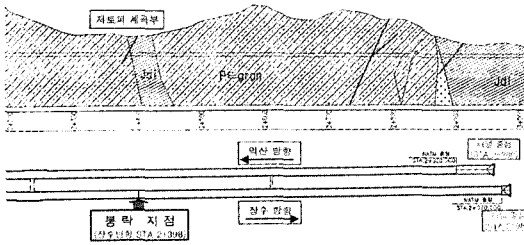


Fig. 4. Collapse point

반 등급이 1, 2등급으로 양호한 것으로 평가되어 지보 패턴을 변경하는 것이 적절하므로 터널의 굴착에 따른 거동특성상 저토피 구간, 특히 계곡부에서는 터널의 안정성 저하 등을 고려하여 지보패턴-Ⅲ으로 판정하여 굴착 중 발파작업 종료와 동시에 터널 상부에서 붕락이 발생하였다(Fig. 6).

3.2 터널붕락규모

터널의 붕락규모가 처음에는 약 130 m³ 정도였으나 절리사일로 용출수가 유입되어 막장자립 능력이 약화

되면서 약 60 m³ 정도 추가 붕락 발생하여, 총 190 m³ 정도의 붕락이 발생하였다. 터널 천단부를 기준으로 약간 좌측부에서 붕락현상이 발생되어 터널상부의 지반이 내려앉아 붕락된 상태로 붕락토사가 터널내로 유실되었다. 터널 상부의 지표면이 폭 6 m, 깊이 3 m 정도로 함몰되었다(Fig. 7).

3.3 터널붕락위치 지상부 관찰

터널상부의 지상함몰위치는 산계곡부에 위치하고 있으며 붕락된 구간 지표면 상부의 1 m 내외의 작은 수로가 형성되어 있다(Fig. 8).

3.4 터널붕락 후 조치사항

터널 천단부의 붕락에 따라 토사가 유실되고 터널 상부지반이 함몰되어 인접지반의 지중응력 해방에 따른 진행성 파괴가 확산되는 것을 방지하기 위하여 Fig. 10, 11과 같이 붕락사태 보고 후 붕락부의 터널막장을 암벽력으로 즉시 메우고 슛크리트로 폐합하여 막장이 안정되도록 적절한 조치를 취하였다.

지상 함몰부는 붕락구간으로 계곡수가 유입되는 것을



Fig. 5. Whole view of tunnel face(STA. 2+406)

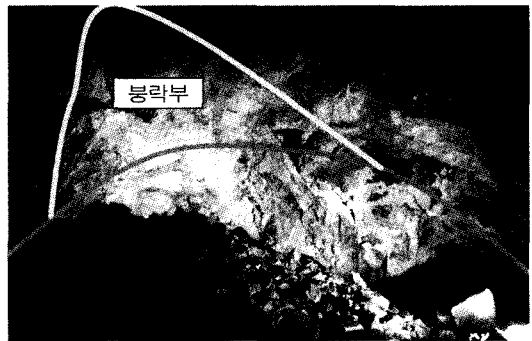


Fig. 6. Whole view of tunnel collapse position(STA. 2+398)

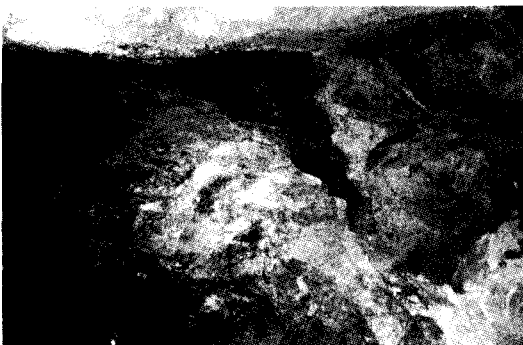


Fig. 7. Near view of tunnel collapse position(STA. 2+398)



Fig. 8. Whole view of the earth's surface depression

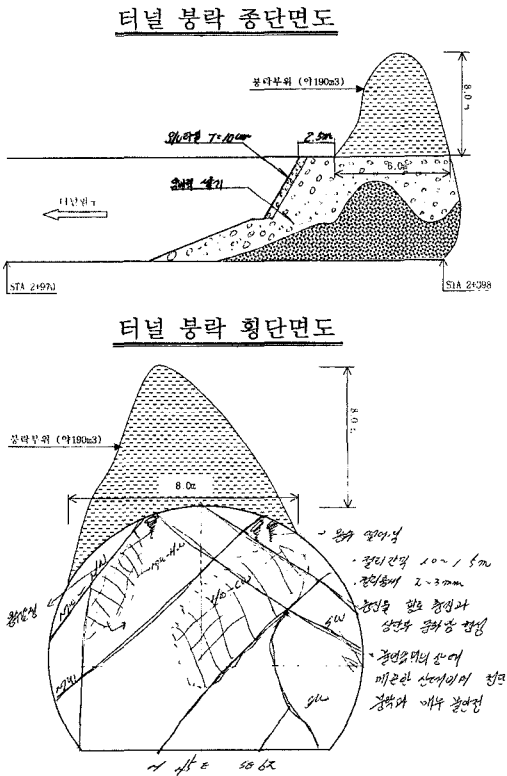


Fig. 9. Vertical · cross section of collapse point

방지하기 위하여 함몰부에 위치하던 수로위치를 변경 이설하여 계곡수가 유입되는 것을 방지하였다.

4. 터널의 붕락원인 고찰

4.1 터널의 붕락유형과 원인

지반 속에 있는 한 점의 응력상태는 오랜 시간을 경

과하면서 지각운동, 조산운동 그리고 주변 지형상태에 부응하여 역학적으로 거의 평형을 이루는 상태에 있다. 그러므로 터널굴착과 같은 작용은 이러한 응력평형을 교란시키며 새로운 평형상태에 도달할 때까지 변형 또는 변위를 일으키게 된다.

터널 굴착 중 발생할 수 있는 붕괴를 파괴개념별로 구분하면 세 가지로 구분할 수 있는데 첫째는 지반의 절리방향이 터널굴진방향과 불리하게 형성되어 있어서 발생하는 sliding failure이고 둘째는 슛크리트층 하부기초의 침하에 따른 천장부의 shear failure이며, 셋째는 굴착면의 지지력 부족이나 과도한 지하수 유입에 기인한 토사층의 progressive failure이다. 국내도로터널의 경우 발생한 터널 붕락유형의 비율을 분석해 보면 Table 1과 같다.

이들 붕괴유형을 좀 더 세부적으로 설명하면 다음과 같다.

Table 1. Percentage of collapse type by idea of destruction in highway tunnel

Type	Percentage
shear failure	17%
sliding failure	83%

4.1.1 파괴개념에 따른 구분

① Sliding Failure

절리면이 터널 축과 거의 직교하고 경사가 20°~45° 상향으로 발달된 지층을 굴진할 경우에 터널 굴착시 막장면의 상부가 쏟아져 내려오거나, 절리면이 터널 축과 평행하고 경사가 굴진방향과 거의 평행할 경우에는 터널측벽의 주변지반이 절리면을 타고 쏟아져 내릴 가능성이 많은데 이런 파괴를 Sliding failure라 한다.



Fig. 10. Refuse filling at collapse point



Fig. 11. Shotcrete laying at collapse point

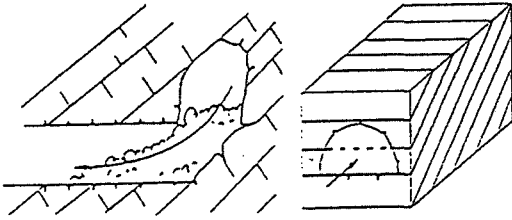


Fig. 12. Example of sliding failure

② Shear failure

굴착저면의 지지력이 약할 경우에는 1차 지보가 완료된 터널측벽이 침하하게 된다. 연약한 토사층에 건설된 터널에서 이러한 침하가 발생하면 천장 상부의 전토퍼 하중이 1차 지보에 전달되므로 슛크리트층은 전단파괴가 발생하여 균열이 생기거나 붕괴하게 된다.

③ Progressive failure

터널의 막장면은 무지보 상태이기 때문에 지반이 연약하거나 지하수의 유입이 과다하게 되면 시간이 지남에 따라 지반의 지지력이 저하되면서 수 십분 내지 수 시간에 걸쳐 진행성 파괴가 발생한다.

4.1.2 굴착 단계에 따른 구분

해의 터널 붕락사례 분석결과를 보면 터널의 붕락과 붕괴는 터널 직경의 2배 이하인 저토퍼 구간에서 주로 발생하는 것으로 조사되었다. 터널 붕괴가 발생한 위치별로 터널 굴착단계에 따라 구분하면 다음과 같다.

① 무지보 막장면에서의 붕괴

터널 굴착시 가장 발생 빈도가 높은 붕괴유형으로 지반조건과 지하수 유입상태, 절리면의 불리한 방향으로 원인이 복합적으로 적용하여 발생한다. 붕괴의 규모도 작은 여굴에서 부터 대형의 터널 붕락, 붕괴에 이르기까지 다양한 형태로 나타나고 있다.

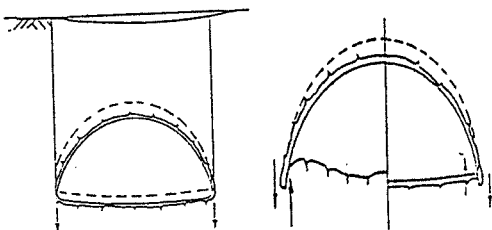


Fig. 13. Example of shear failure

② 지보가 설치된 상반구간에서의 붕괴

터널막장으로부터 터널 폭의 1D~2D까지의 후반에 위치한 상반구간에는 무지보 막장구간에 비해 상대적으로 강성이 큰 지보재가 설치되었기 때문에 3차원 상으로 응력이 집중하게 되는데, 이 구간에 타설된 슛크리트는 아직 강도가 충분히 발현되지 못한 연성 슛크리트 상태일 뿐만 아니라 지반거동과 지하수 흐름도 급격히 변화하는 불안정한 구간이기 때문에 지보재의 지지력은 거의 한계상태로 도달해 있다고 볼 수 있다.

③ 하반굴착구간에서의 붕괴

하반을 굴착하게 되면 터널의 직경은 상반 굴착후의 직경에 비해서 거의 2배에 이르게 되고 1회 굴진장도 상반에서의 굴진장에 비해서 2~3배 정도로 시공하기 때문에 붕괴의 가능성이 높아지게 된다.

④ 인버트 링폐합 구간에서의 붕괴

대부분의 터널에서는 인버트 굴착 후 링폐합이 이루어지게 되면 내공변위도 일정값에 수렴하게 되고 터널은 안정된 상태에 도달한 것으로 볼 수 있다. 그러나 내공검측결과 콘크리트 복공의 설계단면이 부족한 경우에는 슛크리트 두께를 감소시킴으로써 슛크리트에 응력이 집중되고 균열이 발생하거나 붕락이 발생할 수 있다.

상기의 터널붕괴유형 중 본 ○○터널 붕락의 경우 계곡부의 용수 및 절리면을 따라 발달되어 있는 불연속면으로 인하여 발파와 동시에 붕락이 발생된 형태로 Sliding Failure로 구분된다.

4.2 터널붕락 복구방법

지반상태와 지하수 조건이 불리한 곳에서 터널을 시공할 경우 터널의 안정성 증대를 위해 터널굴착 보조공법이 적용된다. 특히 터널구조물의 경우 일반적인 다른 구조물과는 달리 지반자체에 주로 의존하여 형성되는 구조물로서 터널주변 지반 자체가 붕락되는 경우 암반과 토사는 이완된 상태이므로 이러한 이완영역에 대한 보강을 통해 붕락된 주변지반에 대한 강도증진효과를 얻기 위하여 터널굴착 보조공법이 반드시 적용되어야 한다. 터널굴착 보조공법은 보강목적에 따라 “지반강화 및 구조적 보강”, “지수 및 배수”를 위한 공법으로 크게 다음 Table 2와 같이 나눌 수 있다.

5. 터널보강단면 안정성 검토 및 3차원 수치해석방법

터널시공에 따른 주변지반의 응력-변형을 관계는 막장의 효과로 인해 실제로는 3차원적 거동을 보인다. 즉

Table 2. Availability of supporting method

대책	목적	공법	원지반			비고
			경암	연암	토사	
지반강화 및 구조적 보강	천단안정	파이프루프		△	△	○ ○ 터널 붕락구간 적용 보강공법 * 지표면 상부: LW그라우팅 적용 * 터널 내 : 강관다단그라우팅 적용
		경사 록볼트		△		
		휘폴링		△	△	
		강관보강형 다단그라우팅		▲	●	
	막장면, 바닥면 안정	약액주입공법			●	
		막장면 슛크리트		△	○	
		막장면 록볼트		△	△	
		코어 핵		△	△	
용수대책	지수/배수	가인버트		△	△	
		약액주입공법	△	●	●	
		물빼기공	△	○	○	
		웰포인트 공법			○	
		딴 웰공법			○	

* ○ : 적합, △ : 보통

굴착으로 인한 굴착 상당력은 터널막장에서 후방으로 멀리 떨어져 있는 단면에서는 횡방향 아치에 의해서만 전적으로 지지되나 막장에 근접한 단면에서는 횡방향 아치뿐만 아니라 종방향 아치에 의해서도 지지되는 3차원적 거동 특성을 보이므로 수치해석기법을 통해 터널 시공에 따른 응력-변형률 관계를 모사하기 위해서는 3차원 수치해석이 합리적이다. 따라서 본 검토에서는 3차원 수치해석프로그램을 적용, 붕락구간에 대한 안정성 분석을 수행하였다.

5.1 프로그램 개요

본 검토에 적용된 프로그램은 일반적으로 사용되는 3차원 터널 수치해석 프로그램인 "Pentagon 3D"로 터널

모델을 전용으로 해석하는 프로그램으로 굴착 및 보강 단계별 시공공정이 실제와 거의 동일하게 모사되며 구조물이나 지반에 외적인 경계조건이 주어지면 그에 해당하는 내부변수를 계산하는 유한요소해석프로그램이다.

5.2 단면의 선정 및 해석방법

터널계측결과를 토대로 역해석을 실시하여 Table 3과 같이 지반 물성치를 추정하여 해석에 적용하였으며, 지보재의 물성치는 상용 지보재의 물성을 사용하였다. 굴착시 지반거동을 실제와 같이 모사하고자 지층 및 지반 물성치를 현장조사자료에 의거하며 적용하였으며 터널굴착에 따른 터널거동특성을 파악하고자 붕락구간

Table 3. Physical properties of applied ground

Type	Elastic modulus (ton/m ²)	Unit weight (ton/m ³)	Cohesion (ton/m ²)	Poisson's ratio	Friction angle (°)
보통암	300,000	2.5	100	0.22	35
연암	100,000	2.22	30	0.26	33
붕적토	1,500	1.9	0.5	0.35	30
보강된 연암	300,000	2.22	35	0.26	33
보강된붕적토	20,000	1.9	5	0.35	30
강관다단보강구간	350,000	2.5	100	0.22	35

Table 4. Physical properties of applied reinforcement materials

Type	Unit weight(t/m ³)	Elastic modulus(t/m ²)	Cross-sectional area(m ²)
Rockbolt	7.85	21,000,000	0.00049
Soft shotcrete	2.3	500,000	0.13
Hard shotcrete	2.3	1,500,000	0.13

에 대하여 터널내 강관다단그라우팅 공법과 지표면 상부에서 LW 그라우팅 공법 적용에 대하여 3차원 유한 요소해석을 다음과 같은 경우의 조건에 대하여 검토하였다.

- ① 지보패턴-V 적용(붕락구간 적용지보패턴)
- ② 강관다단그라우팅공법 적용(붕락구간 터널내 굴착 보조공법)
- ③ 지표면 상부에서 LW 그라우팅 실시(붕락구간 지표면 상부 굴착보조공법)

5.3 결과분석

5.3.1 해석단면

붕락구간의 지층조사결과를 근거로 Fig. 14와 같이 붕락된 구간의 지층조건과 제안된 보강공법의 보강영역을 실제조건과 동일하게 모사하였다.

5.3.2 해석과정

터널굴착의 경우 시공과정에 따른 영향을 많이 받으므로 다음 그림들과 같이 붕락구간에 LW 그라우팅공법과 강관다단그라우팅공법과 적용을 모사하였고 보강

후 지보패턴-V에 의한 굴착 시공과정을 3차원 Simulation하여 붕락구간의 보강 후 굴착시 예상되는 터널 안정성을 분석하였다.

5.3.3 해석결과

① 변위

해석결과 강관다단그라우팅공법과 LW 그라우팅 공법을 병행하여 붕락구간에 대한 터널 보강 후 터널굴착시 발생하는 최대 침하량은 Table 5와 같고 해석결과에 의하면 최대 침하량은 천단부에서 2.9 mm 정도의 미소한 변위가 발생하였다. 터널 강성증대를 위해 적용된 굴착보조공법이 막장 자립성 향상 및 상부이완에 의한 하중을 효과적으로 억제하는 것으로 분석되었다.

② 슛크리트 응력

각 case별 슛크리트 응력 해석결과는 다음 Table 6과 같다. 본 공구의 실시설계서에 적용된 슛크리트 허용응력 840 t/m²을 기준으로 하여 검토한 결과 붕락구간에서 슛크리트가 지지하는 최대 응력은 279 t/m²으로 허용응력 이내로 분석되었다.

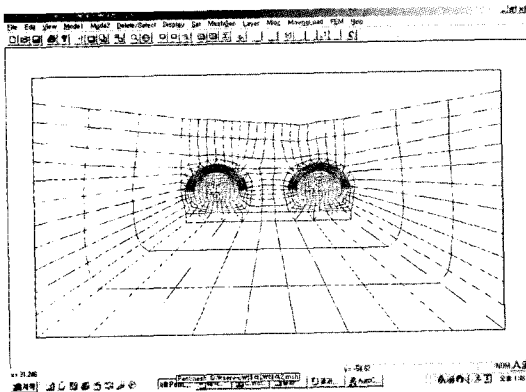


Fig. 14. Section diagram of analysis at collapse point

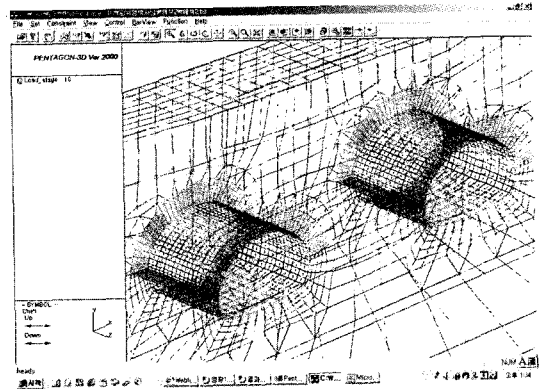


Fig. 15. Displacement diagram of tunnel after reinforcement

Table 5. Maximum settlement of collapse point after reinforcement

Direction	Roof		Left SL		Right SL	
	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)
Tunnel of Ik-san direction	0.021	-2.89	-0.261	0.114	0.177	0.205
Tunnel of Jang-su direction	0.094	-2.058	0.002	0.241	0.097	0.015

Table 6. Maximum shotcrete stress of collapse point after reinforcement

Direction	Maximum stress(t/m ²)	Allowed limit(t/m ²)
Tunnel of Ik-san direction	478.839	840
Tunnel of Jang-su direction	279.641	840

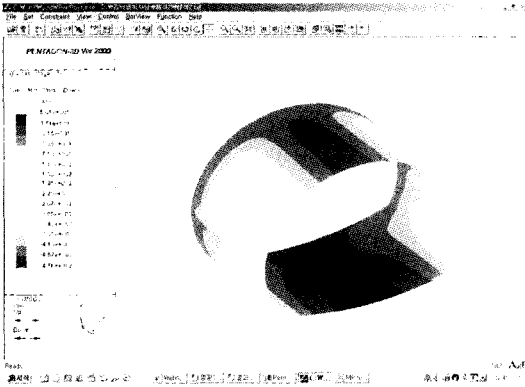


Fig. 16. Stress diagram of shotcrete in the direction of Jang-su

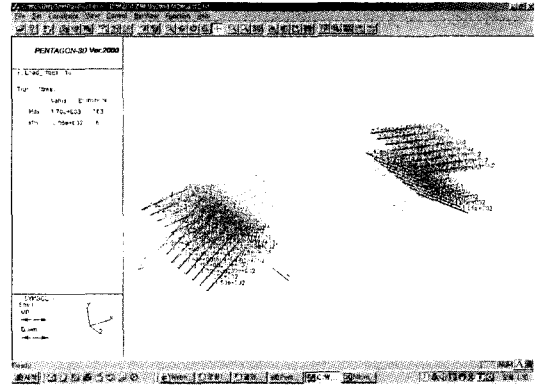


Fig. 17. Axis force diagram of rockbolt in the direction of Jang-su

③ 록볼트 축력

각 봉락구간에 대하여 보강공법 적용 후 터널굴착으로 인해 발생된 록볼트 축력은 Table 7과 같고 허용치 이내로 상당히 안정적인 것으로 분석되었다.

6. 시공시 유의사항

본 터널 내 봉락구간의 경우 봉락부위를 경량콘크리트 또는 슛크리트 등으로 반드시 밀실하게 채움을 하여야 하고 지표면 상부 함몰부도 함몰구간을 중심으로 채우고 함몰직경의 최소 2배 이상(20 m 적정) 그라우팅을 실시하여야 한다(Fig. 18-19).

7. 결 론

익산-장수 건설 사업소 ○○공구 ○○터널 장수방향 STA. 2+398 지점에서 약 190 m³ 정도의 봉락이 발생하였으며, 향후 우수 등에 의한 용수의 영향을 받을 수 있는 계곡부에 위치하고 있어 주변지반의 전단강도 증진을 위한 보강공법이 필요하였다. 봉락구간의 상태와 지반조건을 고려하여 강관단단그라우팅 공법과 지표면 상부에서 LW그라우팅공법을 병행하는 것이 가장 적합한 것으로 판단하였으며, 이 공법에 대한 3차원 안정성 해석 결과 안전한 것으로 나타났다. 본 구간의 경우는 봉락부위를 경량콘크리트로 채우고, 그라우팅 범위는

Table 7. Maximum axis force of collapse point after reinforcement

Type	Maximum axis force(t)	Allowed limit(t)
Axis force	0.85	8.75

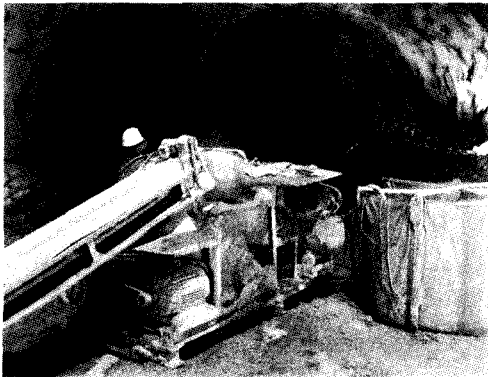


Fig. 18. ALC Injection

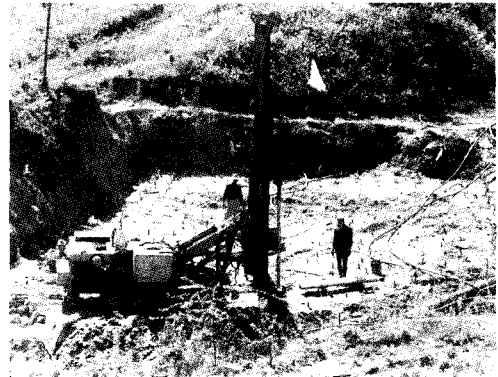


Fig. 19. L/W grouting boring & injection

최소직경의 2배 이상, 강관다단그라우팅은 설치간격 CTC 50 cm, 설치범위 130°, 강관길이 12 m, 보강범위는 붕락구간을 포함하여 최소 20 m이상 보강 될 수 있도록 실시하였다.

참고문헌

1. 한국도로공사, 2001, 익산-장수 고속도로공사 ○○공구 설계보고서.
2. 한국도로공사, 2001, 익산-장수 고속도로공사 ○○공구 지반조사보고서.
3. 김낙영, 2003. 익산-장수 건설사업소 제○○공구현장 ○○터널 붕락구간 보강대책 및 터널안정성 분석, 한국도로공사 도로교통기술원.

백기현



1990년 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1993년 인하대학교 대학원 자원공학과 공학석사

Tel: 031-250-1124
E-mail: bkh@dwconst.co.kr
현재 (주)대우건설 기술연구소 토목연구팀 선임연구원

노종륜



2001년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공학사
2003년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공학석사

Tel: 031-250-1187
E-mail: pacific5@dwconst.co.kr
현재 (주)대우건설 기술연구소 토목연구팀 전임연구원

김용일



1986년 서울대학교 공과대학 토목공학과 공학사
1988년 서울대학교 대학원 토목공학과 공학석사
1998년 미국 University of Colorado-Boulder 토목공학과 공학박사

Tel: 02-2288-5241
E-mail: 8915364@dwconst.co.kr
현재 (주)대우건설 토목사업본부 토목기술1팀 차장

조상국



1972년 한양서울대학교 공과대학 토목공학과 공학사

Tel: 031-250-1100
E-mail: dws.k.cho@dwconst.co.kr
현재 (주)대우건설 기술연구소 소장

황낙연



1977년 한양대학교 공과대학 토목공학과 공학사
2004년 충북대학교 대학원 토목공학과 공학석사

Tel: 02-2288-5706
E-mail: a008526@dwconst.co.kr
현재 (주)대우건설 토목사업본부 상무