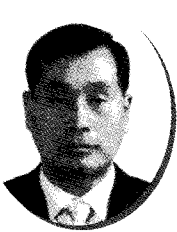


광역상수도터널과 인접한 도심지 터널 대각기 갱구비탈면 보강사례



황종화
서울특별시 도시기반시설본부
시책사업부 1팀장



한정수
서울특별시 도시기반시설본부
시책사업부



전영호
강남순환도시고속도로
책임감리원



조계성
강남순환도시고속도로
건설공사 제5공구 현장소장



정경한
(주)도담이앤씨 상무이사
(jkh@dodamenc.co.kr)

1. 서론

최근 터널설계시 갱구부 비탈면은 환경훼손의 최소화 등의 사유로 비탈면의 높이를 20~30m 이하로 설계하는 것이 일반적이다. 그러나 최근 민간투자사업이 활성화 되면서 도심지에 터널을 계획하는 경우가 다수이다. 이러한 경우에 제한된 용지와 영업소의 위치 등의 제약으로 부득이하게 대각기 비탈면이 발생하기도 한다. 또한, 도심지에 터널 건설시 상수도 터널 등과 같은 중요 지장물과 저촉되어 노선 또는 비탈면 계획에 제약성이 있는 경우 불리한 지반조건에 갱구부를 형성하여야 하는 경우도 종종 발생한다.

이에 본 고에서는 도심지에 건설되는 터널의 대각기 갱구비탈면의 보강사례를 소개하고자 한다. 본 터널 갱구부는 단층파쇄대 지반에 위치하며 주요지장물로 광역상수도 터널과 인접하고 영업소의 위치 제약으로 인해 최대 높이 약 55m의 대각기 비탈면이다.

당 현장 비탈면은 원설계시 표준경사로 계획하여 무보강 비탈면으로 계획되었으나 현장여건, 지반조건 등을 고려하여 보강설계를 수행하였으며 시공중 Feed-back을 통

하여 설계와 시공을 동시에 진행하여 시공을 완료한 사례이다.

2. 현황

당 현장은 강남순환 민자고속도로 제5공구 관악터널 건설공사 중 시점부 갱구부 비탈면 보강공사로 비탈면 현황은 그림 1과 같이 북측, 동측, 남측 비탈면으로 이루어져 있다.

북측(좌측)비탈면은 높이 25~50m, 방향은 224°~179°이며 경사는 52°~90°이다. 또한 광역상수도 터널과 약 35m 이격되어 있다. 동측(배면)비탈면은 높이 45~55m로 가장 대각기 비탈면이며, 방향은 274°, 경사는 63°~90°이다. 남측(우측)비탈면은 높이 35~45m, 방향 350°~018°, 경사 52°~90°로 이루어져 있다.

원설계시 그림 2와 같이 북측(좌측)비탈면과 광역상수도 터널이 9.3m 이격되는 것으로 계획되었으나 Hydro-jacking 및 비탈면 붕괴시 광역상수도 터널에 영향을 미칠 우려가 있어 35m 이격하도록 계획되었다. 이에 따라 비탈

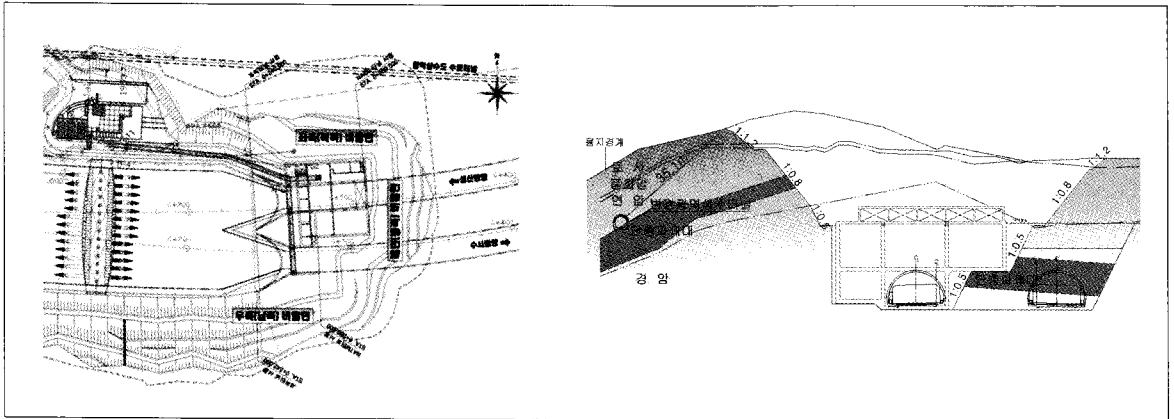


그림 1. 갱구부 비탈면 현황

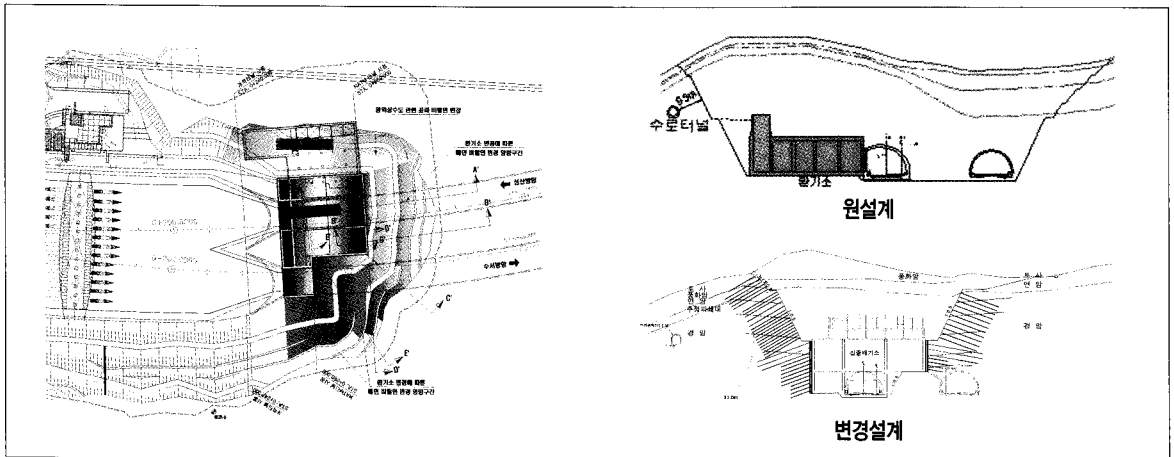


그림 2. 원설계 및 변경설계 현황

면 안정성으로 확보하기 위해 비탈면 보강계획을 수립하였으며 또한 시점부 환기소 구조물 계획변경으로 수직굴착 구간이 발생하고 이에 따른 활동력 증가에 대한 보강방안도 필요한 실정이다.

큰 영향을 주므로 설계단계 및 시공중에 그림 3, 표 1과 같이 단층파쇄대 특성파악을 위한 지반조사를 수행하였다.

3. 지반조사

3.1 조사계획

당 현장은 지질구조는 화강암이 주를 이루고 비탈면도 암반 비탈면이 발달하였으나 대규모 단층파쇄대가 존재하는 것으로 나타났다. 단층파쇄대는 비탈면의 안정에 매우

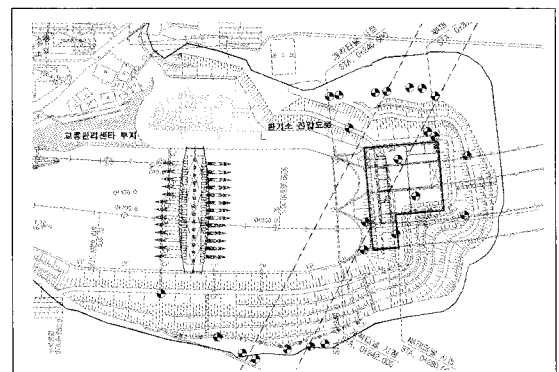


그림 3. 조사위치도

표 1. 지반조사 항목

시험항목	수 량
수직시추	19공
수평시추	5공
Face mapping	6회
단층파쇄대조사	4회
공내영상촬영	4회
절리면 전단시험	3회
단층대 직접전단	3회

시추조사와 단층파쇄대 및 불연속면 특성조사를 통하여 단층파쇄대의 위치와 규모를 정확히 파악하고 현장 및 실내시험을 통하여 물성치를 산정하여 설계에 반영하였다.

3.2 단층파쇄대 조사결과

단층파쇄대의 방향 및 규모는 비탈면 안정성에 주요인 자이므로 6회에 걸친 원격조사 및 현장지질조사, 수직시추

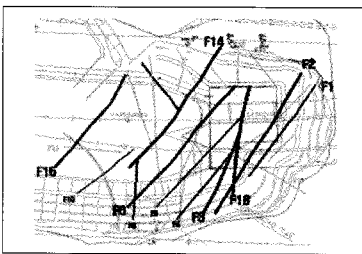
(19공), 수평시추(5공) 결과를 취합, 분석하여 지중 단층의 분포를 추정하였다. 당 현장의 단층파쇄대는 탄질을 다량 함유하고 있는 것으로 나타나 탄질을 포함하고 있을 경우 활동면으로 작용할 수 있으므로 탄질을 함유한 단층 구분 하였다.

당 현장의 단층파쇄대의 방향은 북동~남서방향이 주를 이루며 탄질을 함유한 단층파쇄대는 그림 4에서 남쪽~북쪽의 방향성을 가지는 F3, F6, F16과 남쪽~동쪽의 방향성을 가지는 F2로 나타났으며 폭은 3~5m 이상으로 나타났다.

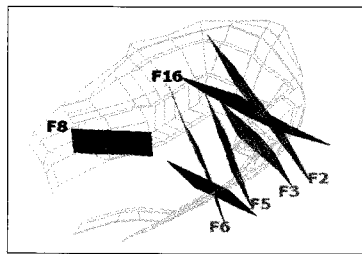
시추조사 및 단층파쇄대 조사결과를 바탕으로 당 현장 비탈면에 단층파쇄대 분포를 유추하였으며 그 결과는 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

3.3 불연속면 조사결과

당 현장은 평면 및 췌기파괴 유발 가능성이 있는 불연속면이 다수 존재하며 실제 시공시 소규모 붕락 등이 발생하



단층파쇄대 분포도

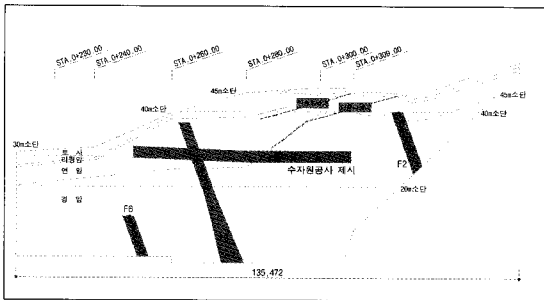


탄질을 함유한 주요단층

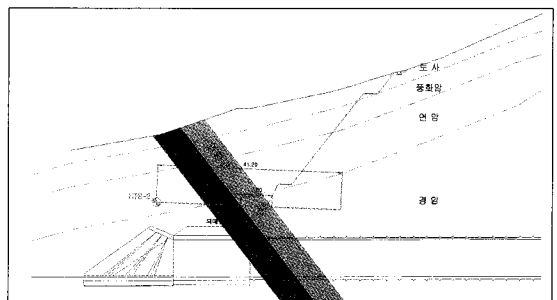


시추조사 결과

그림 4. 단층파쇄대 조사결과



북측(좌측)비탈면



동측(배면측)비탈면

그림 5. 당 현장 단층파쇄대 분포현황

광역상수도터널과 인접한 도심지 터널 대각기 갱구비탈면 보강사례

여 공내영상촬영 및 Face mapping을 통하여 불연속면을 조사하였다. 불연속면 조사는 북측, 동측, 남측 비탈면에 대하여 각각 수행하였다. 조사결과는 다음과 같으며 그림 6, 7, 8에 나타내었다.

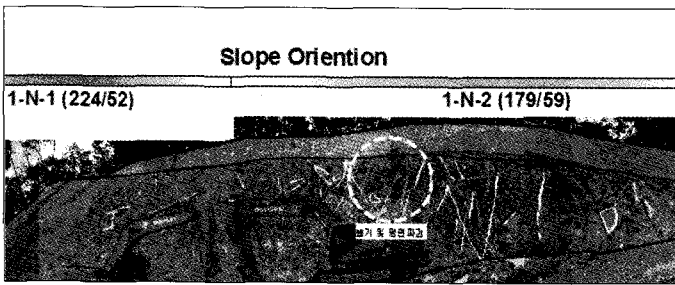
상촬영(BIPS)과 Face mapping을 동시에 수행하였다. 그 결과 대표절리군은 167/47, 228/50, 176/43, 080/56으로 나타났고 평면파괴 가능성이 있는 불연속면이 경사 38° ~ 63° 로 다수 존재하는 것으로 나타났다. 또한 표면에 단층 파쇄대가 폭 5m이상으로 노출되었다.

① 북측(좌측)비탈면

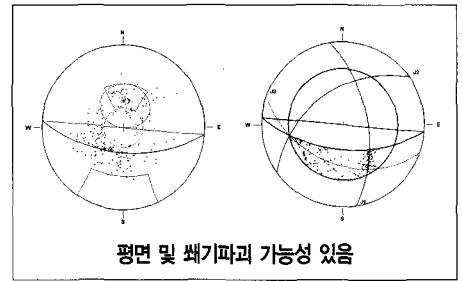
북측비탈면의 방향은 224/52와 179/59로 두개 구역으로 구분되며 광역상수도 터널과 인접해 있으므로 공내영

② 동측(배면)비탈면

동측비탈면의 방향은 274/63이며 시공중 40m 소단 상

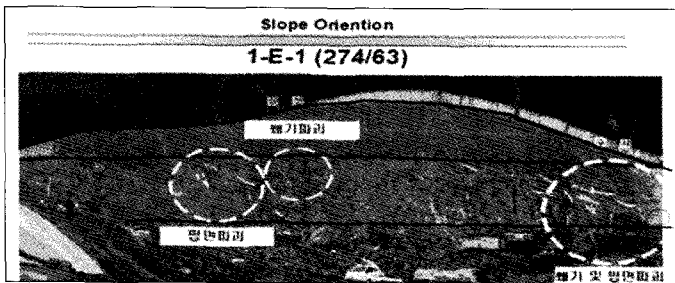


Face mapping(북측비탈면)

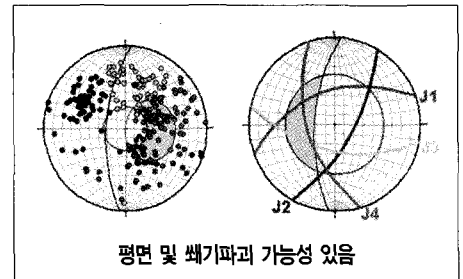


평사투영해석

그림 6. 북측(좌측)비탈면 불연속면 조사결과

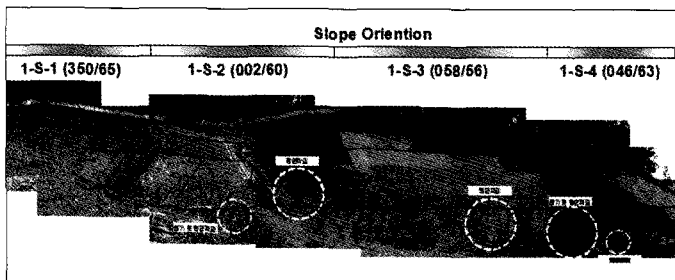


Face mapping(동측비탈면)

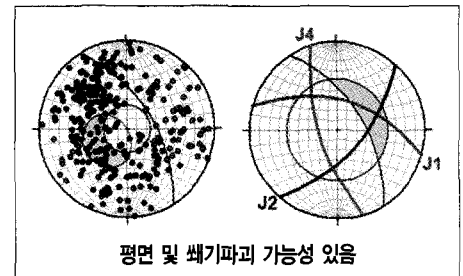


평사투영해석

그림 7. 동측(배면)비탈면 불연속면 조사결과



Face mapping(남측비탈면)



평사투영해석

그림 8. 남측(우측)비탈면 불연속면 조사결과

부에서 평면 및 썩기파괴가 일부 발생하였다. Face mapping 결과 대표절리군은 255/31, 288/38, 315/34로 나타났고 평면파괴 가능성이 있는 불연속면이 경사 31°~51°의 범위를 나타낸다.

③ 남측(우측)비탈면

남측비탈면의 방향은 350/65, 002/60, 058/56, 046/63으로 4개의 지역으로 구분되며 폭 5m 이상의 단층파쇄대가 표면에 노출되어 있고 대표절리군은 021/52, 134/57, 254/64으로 평면 및 썩기파괴 가능성과 단층파쇄대 노출 구간의 파괴가 예상된다.

3.4 실내실험결과

암석특성 및 단층파쇄대의 물성을 평가하기 위해 4개의 시추공내 시료 채취 및 단층파쇄대 시료 채취를 통하여 암석실험과 단층파쇄대 전단실험을 수행하였다.

암석실험은 표 2와 같이 수행하였으며 실험결과 공극률 8.8~12.0%, 일축강도 33.5~92.0MPa, 삼축압축강도 실험 결과 C=평균 6.1MPa, ϕ =평균 49.7°로 나타났다. 또한,

표 2. 암석실험 항목

시험항목	수 횟
일축강도, 물성시험	14회
삼축압축시험	13회
절리면전단강도	15회
Slaking	15회
Swelling	14회
XRD	9회

표 3. 설계적용 물성치

구 분	단위중량 (KN/m ³)	포아송비	집적력 (MPa)	내부마찰각 (°)	연장계수 (MPa)
토사층	19	0.35	0.016	30	29
풍화암	21	0.32	0.020	31	250
연 암	25	0.27	0.102	33	1200
파쇄대	23	0.30	0.030	28	400
경 암	26	0.25	0.305	37	4400
절리면	-	-	0.030	28	-

절리면 전단실험 결과 절리면 강도가 C=평균 0.03MPa, ϕ =평균 31.6°로 나타났다.

Slaking과 Swelling 실험결과 Slaking은 암반에서 90% 이상으로 high, 파쇄대에서 62.3%으로 medium으로 나타났다. Swelling은 풍화 정도에 따라 0.067%~0.015%의 범위를 나타낸다. XRD 회절분석 결과 주요 구성광물은 Kaolinite, Montmorillonite 등으로 나타났다.

현장에 노출된 단층파쇄대에서 시료채취를 통하여 총 8회의 단층파쇄대 전단실험을 수행하였으며 그 결과 단층파쇄대의 강도정수가 C=평균 0.012MPa ϕ =평균 34.2°로 나타났다.

당 현장의 보강설계에 적용한 물성치는 원설계시 제시한 물성값과 실내실험값 등을 종합분석하여 산정하였으며 표 3과 같다.

4. 보강설계

4.1 보강현황

당 현장 지반조사 결과 단층파쇄대가 발달되어 있으며 평면 및 썩기 파괴 유발 절리가 다량 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 암괴블럭 탈락 방지 및 단층파쇄대와 절리면 충전이 가능한 압력식 쓰일네일링 공법을 선정하였으며 20m 소단하부 수직굴착 구간은 상부 변위를 억제하기 위하여 영구앵커와 혼용으로 적용하였다.

또한, 당 현장은 시공공기가 매우 촉박하므로 공기측면과 경제성 측면에서 가장 유리한 압력식 쓰일네일링 공법을 선정하였다.

보강계획은 지반조사 결과와 각 비탈면별 위험요소를 분석, 수치해석 등을 통하여 계획하였으며 각 비탈면별 보강설계 방향 및 보강현황은 다음과 같으며 그림 10에 나타내었다.

① 북측(좌측)비탈면

- 광역상수도 터널 35m 이격

⇒ Hydro-jacking 검토 및 보강 필요

광역상수도터널과 인접한 도심지 터널 대각기 갱구비탈면 보강사례

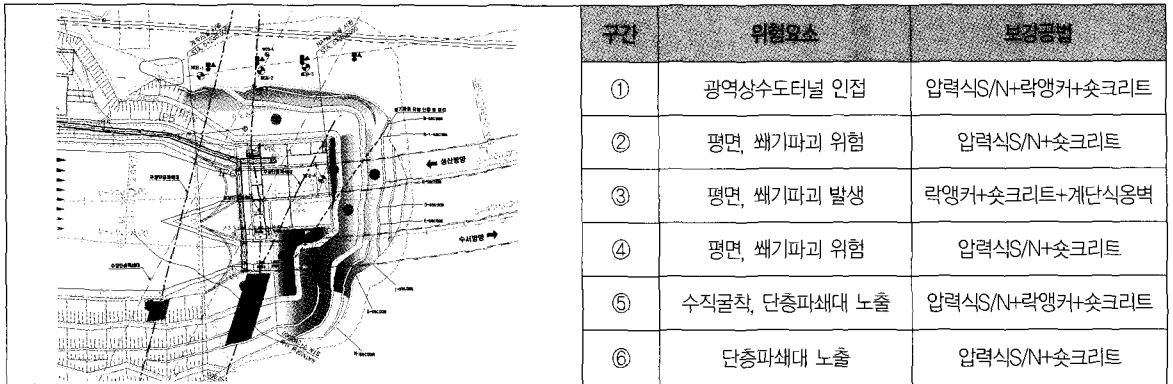
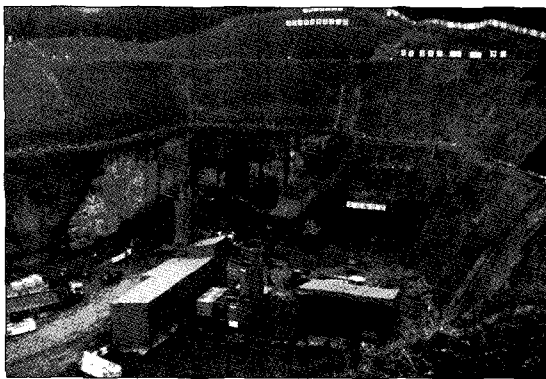
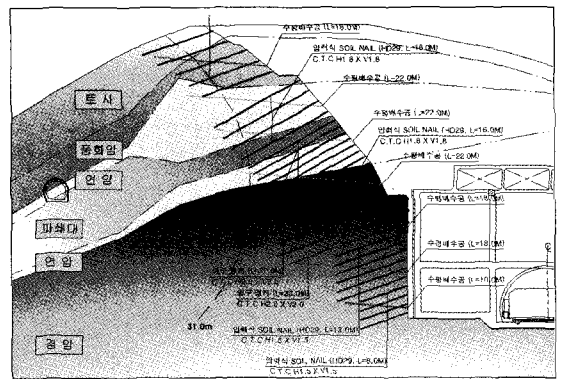


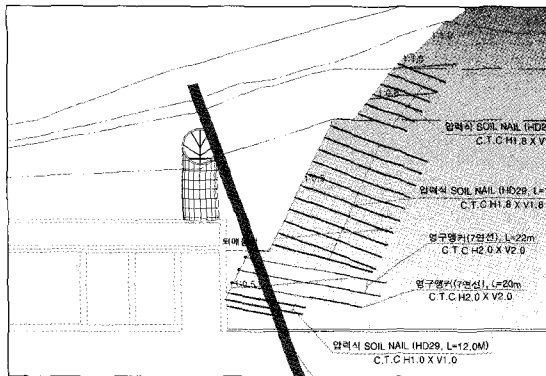
그림 9. 보강계획 현황도



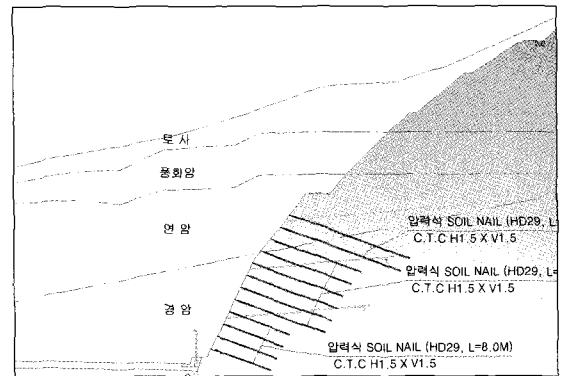
시공전경



북측(좌측)비탈면 보강단면도



동측(배면)비탈면 보강단면도



남측(우측)비탈면 보강단면도

그림 10. 단층파쇄대 조사결과

- 단층파쇄대 노출구간
⇒ 붕괴위험성 존재하므로 보강재 간격을 조밀하게 배치
- 20m 소단하부 수직굴착
⇒ 영구앵커와 네일링 혼용 보강

- 평면파괴 발생 가능성 존재
⇒ 안정해석을 통한 보강설계

- ② 동측(배면)비탈면
- 평면 및 썩기파괴 발생

- ⇒ 기봉과구간 영구앵커, 계단식옹벽보강 안정해석을 통한 보강설계
- 20m 소단하부 수직굴착
 - ⇒ 영구앵커와 네일링 혼용 보강
- 수서방향 NATM 터널 매우 인접
 - ⇒ 비탈면과 NATM 터널 약 6.5m 인접 파쇄대 구간
 - 이므로 집중보강 수행

③ 남측(우측)비탈면

- 단층파쇄대 노출구간 존재
 - ⇒ 보강재 간격 조밀 배치
 - 영구앵커와 네일링 혼용 보강
- 평면, 썸기파괴 위험구간 및 단층파쇄대 일부 붕괴구간
 - ⇒ 굴착중 추가보강 수행

총 보강물량은 압력식 쓰일네일링 4,109공, 영구앵커 210공, 슛크리트 11,282m²이며 이외 시공중 붕괴 가능성 구간을 추가보강하였으며 암반 탈락과 단층파쇄대 붕괴를 방지하기 위해 슛크리트를 비탈면 전체에 보강하였으며 식생기반재로 비탈면을 녹화하였다.

4.2 한계평형해석

3절에서 조사된 불연속면에 대하여 평사투영해석결과 북측(좌측)비탈면과 동측(배면)비탈면은 평면 및 썸기파괴의 위험성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 한계평형해석을 통하여 안정성을 검토하였다.

당 현장 비탈면은 40m 이상의 높은 암반비탈면이므로 다양한 파괴모드가 발생할수 있다. 이에 보강설계시 파괴모드를 가정하여 검토를 수행하였으며 해석시 가정한 파괴모드는 다음과 같다.

- 북측(좌측) 및 동측(배면)비탈면
 - Case-1: 토사, 풍화암, 파쇄대 원호파괴
 - Case-2: 풍화암~경암 전체사면 평면파괴
 - Case-3: 연암~경암층 평면파괴
 - Case-4: 파쇄대하부~경암층 평면파괴
 - Case-5: 수직굴착구간 평면파괴

남측(우측)비탈면은 파쇄대가 노출된 구간에 대하여 해석을 수행하였으며 원호 및 비원호 파괴에 대하여 검토를 수행하였다.

- 남측(우측)비탈면

Case-1: 파쇄대를 연속체로 가정 원호파괴 검토

Case-2: 파쇄대를 불연속체로 가정 비원호파괴(평면 파괴) 검토

한계평형해석 프로그램은 보강재를 구현하기 위해 Talren-97을 이용하였으며 비탈면 안전율 기준은 도로설계요령에 근거하여 건기시 F.S=1.5 이상, 우기시 F.S=1.2 이상을 적용하였다.

비탈면 무보강시 안정성 검토결과 북측(좌측)비탈면은 안전율이 건기시 F.S=0.74~1.65, 우기시 F.S=0.39~0.99로 나타났으며 동측(배면)비탈면 안전율은 건기시 F.S=0.88~1.70, 우기시 F.S=0.34~1.08로 나타나 허용안전율 이하로 보강이 필요한 것으로 나타났다. 남측(우측)비탈면의 무보강시 해석결과는 파쇄대 구간 원호 및 비원호 파괴에 대하여 건기시 F.S=0.96~1.14, 우기시 F.S=0.41~1.01로 허용안전율 이하로 나타나 보강이 필요한 것으로 나타났다.

따라서, 보강시 허용안전율을 확보할수 있도록 4.1절과 같이 보강을 수행하였으며 보강후 안정성 해석결과 북측, 동측, 남측 비탈면 모두 Case별 파괴모드에 대하여 안정성을 확보하는 것으로 나타났다. 대표적인 해석결과는 해석 결과는 그림 11, 12, 13에 나타내었다.

4.3 유한요소해석

당 현장 비탈면중 북측(좌측)비탈면은 광역상수도 터널과 35m 이격되어 있다. 광역상수도 터널은 상시 수압이 작용하는 압력터널이므로 비탈면 형성시 Hydro-jacking의 영향이 발생할 수 있으므로 광역상수도 터널의 수격압에 대하여 유한요소해석과 이론식을 통한 방법으로 안정성을 검토하였다.

또한, 동측(배면)비탈면의 경우 배면비탈면이 수서방향

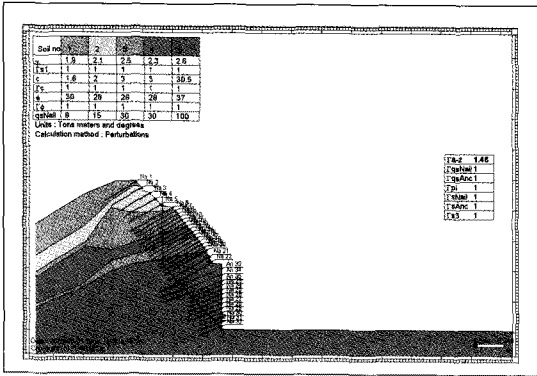


그림 11. 북측비탈면 보강후 한계평형해석

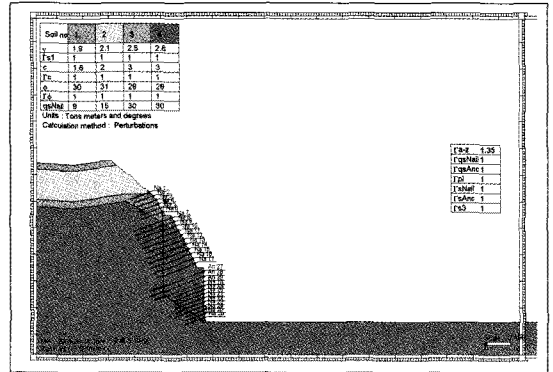


그림 12. 동측비탈면 보강후 한계평형해석

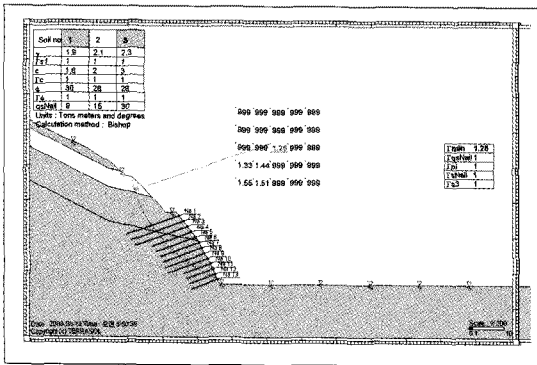


그림 13. 남측비탈면 보강후 한계평형해석

NATM터널과 6.5m로 매우 인접하고 NATM터널이 파쇄대를 통과하므로 비탈면과 NATM터널의 안정성이 동시에 요구된다. 따라서, 시공단계별 유한요소 해석을 수행하여 안정성을 검토하였다.

유한요소해석 프로그램으로는 지반 범용 프로그램인 MIDAS-GTS를 사용하였다.

① 북측(좌측)비탈면 Hydro jacking 검토

Hydro jacking 현상 발생하는 조건은 지반내의 간극수압이 증가하여 유효응력이 0이 되는 경우이며 즉, 수격압에 의한 간극수압이 수압이 없는 경우의 전응력보다 클 경우에 발생한다. 따라서, 다음과 같은 절차로 전응력과 간극수압의 관계로 Hydro jacking 현상을 검토하였다.

- 1st 유한요소해석을 통한 Hydro fracture 영향범위 산정
- 2nd 수격압이 없는 경우 전응력(최소주응력(σ_3), 최대주응력(σ_1)) 산정
- 3rd 수격압 0.4Mpa, 0.6Mpa에 대하여 간극수압(α) 산정
- 4th 전응력과 간극수압 비교로 판정

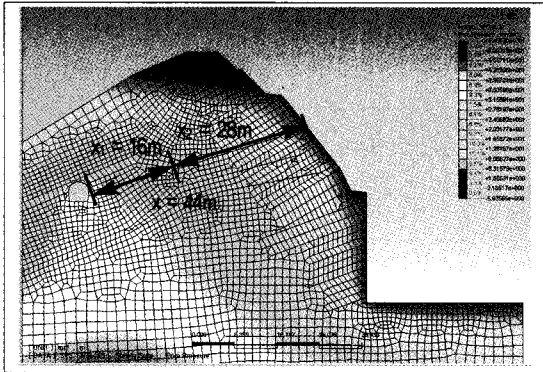
검토결과 Hydro fracture의 영향범위는 비탈면에서 약 28m로 산정되었다. 광역상수도 터널에서 이격거리별로 전응력 및 간극수압 산정결과는 표 4와 표 5에 나타내었고

표 4. 수격압 0.4MPa 경우 산정결과

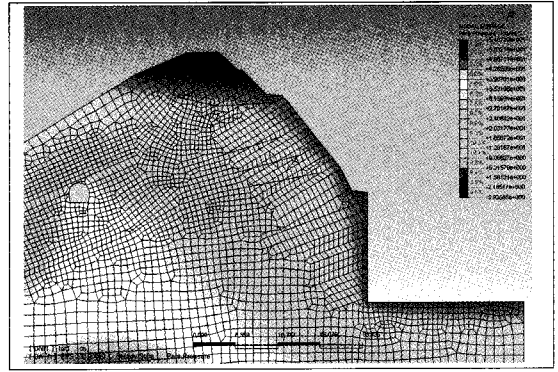
비탈면에서의 이격거리	전응력		간극수압 (σ_w , MPa)	판정
	최소주응력 (σ_3 , MPa)	최대주응력 (σ_1 , MPa)		
비탈면표면	0.0	0.0	0.0	O.K
10m 이격	33.5	47.4	9.0	O.K
20m 이격	46.9	60.4	15.9	O.K
28m 이격	50.0	58.1	19.0	O.K

표 5. 수격압 0.6MPa 경우 산정결과비탈면

비탈면에서의 이격거리	전응력		간극수압 (σ_w , MPa)	판정
	최소주응력 (σ_3 , MPa)	최대주응력 (σ_1 , MPa)		
비탈면표면	0.0	0.0	0.0	O.K
10m 이격	0.34	0.47	0.12	O.K
20m 이격	0.47	0.60	0.22	O.K
28m 이격	0.50	0.58	0.27	O.K



영향범위 산정



간극수압 해석결과도

그림 14. Hydro jacking 해석결과도

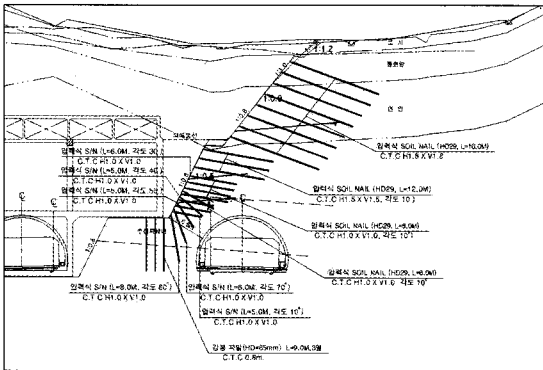


그림 15. 동측(배면)비탈면 터널 간섭구간 현황

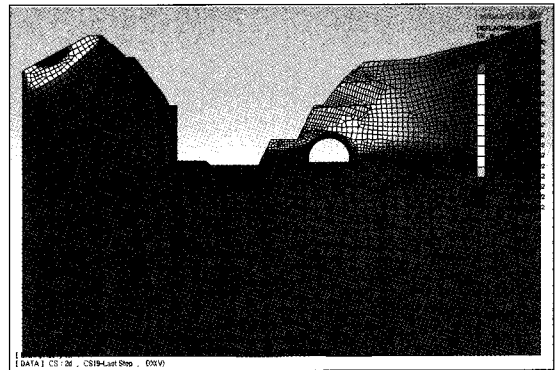


그림 16. 유한요소해석 결과

판정결과 비탈면 굴착 영향범위 내에서 Hydro jacking은 나타나지 않는 것으로 판정되었다. 해석결과 및 모델링은 그림 14와 같다.

② 동측(배면)비탈면 유한요소 해석

동측(배면)비탈면 환기소 구조물 설치로 인하여 NATM 터널과 6.5m 이격되어 비탈면이 형성된다. 또한, NATM 터널이 단층파쇄대 구간에 위치하므로 NATM터널 굴착 시 비탈면과 터널의 안정성에 대하여 검토를 수행하였다. 현황 그림 15와 같으며 시공순서는 비탈면을 선굴착 및 보강하고 터널을 굴착하는 방법으로 계획하였다.

보강방안으로는 NATM 터널에 강판단단 그라우팅을 설치하고 인접한 비탈면에 압력식 쏘일네일링 및 강봉파일을 설치하는 것으로 계획하였다. 해석결과 비탈면의 경

우 쏘일네일링 최대축력 121.6kN, 강봉파일 최대축력 554.5kN 터널의 최대변위 3.5mm, 최대 쏘트리트 응력 8.04MPa로 안정한 것으로 평가되었다. 현재 터널 굴착이 진행되어 파쇄대 구간을 통과하였으며 현장 계측결과 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

5. 계측

5.1 계측계획

당 현장 비탈면의 계측 시스템은 자동화 계측으로 2시간 주기의 실시간 계측으로 감독관, 관련지자체, 시공관리자, 설계자가 실시간 감시가 가능한 시스템을 적용하였다.

광역상수도터널과 인접한 도심지 터널 대각기 갱구비탈면 보강사례

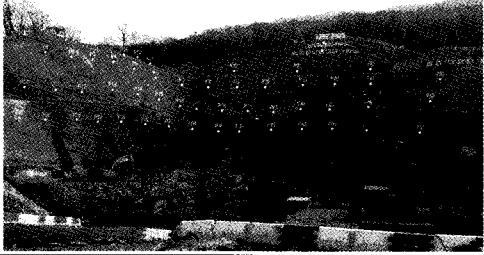
계측기	수량	계측기 설치 현황
지중경사계	4개소	
지하수위계	4개소	
지중변위계	4개소	
간극수압계	4개소	
쏘일네일링 응력계	20개소	
광파기 타켓	51개소	

그림 17. 계측 설치 수량 및 위치

표 6. 계측현장관리기준

계측기	점검, 요주의 관측강화기준
지중경사계	5mm이상/10일
지하수위계	0.5m이상/1일
지중변위계	5mm이상/10일
간극수압계	0~0.2 MPa/1일
쏘일네일링 응력계	허용응력 80%이내
지표변위계	5mm이상/10일

계측 수량 및 설치위치는 그림 17과 같으며 계측진행은 착공 중인 2008년 12월부터 비탈면 완공 및 현재 시점까지 계측을 수행하고 있다.

계측관리기준은 총 4단계로 점검, 요주의 관측강화 단계, 대책의 검토 단계, 경계응급대책 단계, 엄중경계 일시 대피 단계로 설정하고 이중 점검, 요주의 관측강화 단계를 현장관리기준으로 관리하고 있으며 표 6에 나타내었다.

변위가 많이 발생될 것으로 예상되는 6개소에 대하여 2008년 12월부터 현재까지 비탈면 수평변위 변화를 분석하였다(그림 18 참조).

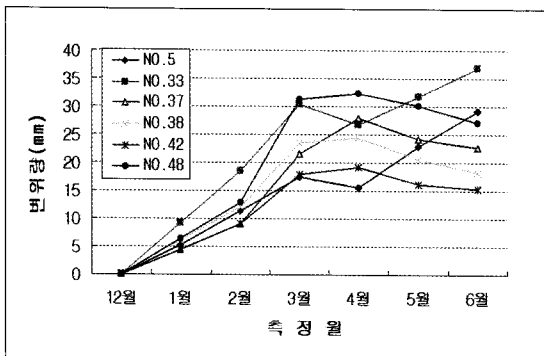


그림 18. 비탈면의 월별 누적 수평변위

비탈면의 수평변위는 증가하는 시간경과에 따라 증가하는 추세를 보이나, 평균 1.58mm /10일로서 점검, 요주의 관측강화기준인 5mm/10일 이하로 나타나, 안정성에 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한, 쏘일네일링의 축력 분석 결과 시간경과에 따라 네일링 축력은 수렴하는 경향을 나타내며, 네일링의 최대 축력은 허용응력의 5.04%로 기준인 80%에 미치지 못하여 네일링 축력에도 문제가 없어, 비탈면에 안정성에 문제가 없는 것으로 관측되었다.

6. 결 론

시공중 지반조사 및 Feed-back을 수행, 설계와 시공을 동시에 진행하여 시공을 완료한 도심지에 건설되는 터널의 대각기 갱구비탈면의 보강사례 분석결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 당 현장은 무보강 비탈면으로 계획되었으나, 복측(좌측)비탈면에 광역상수도에 의한 Hydro-jacking 가능

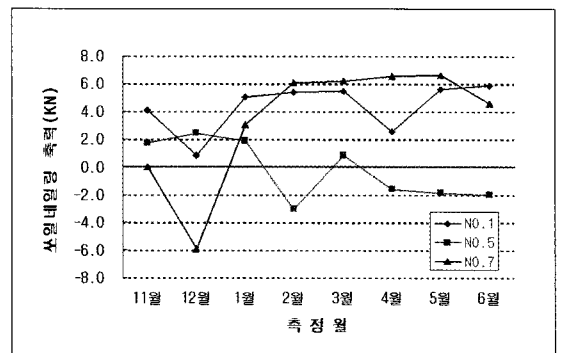


그림 19. 압력식 쏘일네일링 축력 변화

- 성 및 시점부 환기소 구조물 계획변경에 따른 수직굴착 구간의 발생으로 보강이 필요하였다.
2. 당 현장은 대규모 단층파쇄대가 존재하는 것으로 나타나, 보강계획전 시추조사, 공내영상촬영 등의 지반 조사를 수행하여 단층파쇄대의 위치 및 규모를 파악하였다.
 3. 조사결과 당 현장의 단층파쇄대는 총 16개로, 활동면으로 작용할 수 있는 탄질을 함유한 단층으로 구분하였으며, 평면 및 썩기파괴를 유발할 수 있는 불연속면 이 다수 관찰되었다.
 4. 단층파쇄대와 파괴 유발 절리가 다량 존재하는 당 현장의 특성을 고려하여 절리면 충진효과가 우수하며, 공기와 경제성 측면에서 가장 유리한 압력식 쏘일네일링공법을 주 보강공법으로 선정하였고, 20m 소단하부 수직굴착 구간은 상부변위를 억제하기 위하여 영구앵커와 혼용으로 적용하였다.
 5. 당 현장은 40m이상의 높은 암반비탈면이므로 다양한 파괴모드를 가정하여 보강설계를 수행하였다.
 6. 북측(좌측)비탈면은 유한요소해석을 수행하여 Hydro-jacking을 검토하였으며, 검토 결과 비탈면 굴착 영향범위 내에서 Hydro-jacking은 나타나지 않는 것으로 판정되었다.
 7. 동측(배면)비탈면은 환기소 설치로 NATM 터널과 6.5m 이격되어 비탈면이 형성되며, NATM 터널이 단층파쇄대 구간에 위치하므로 유한요소해석을 수행하여 안정성을 검토하였다. 검토결과 안정한 것으로 평가되었고, 현재 NATM 터널이 통과한 상태로 계속치에도 문제가 없는 것으로 나타났다.

8. 시공중 비탈면의 안정성 관측을 위하여 2시간 주기의 실시간계측으로 감독관, 관련지자체, 시공관리자, 설계자가 실시간 감시가 가능한 자동화 계측시스템을 적용하였다.
9. 계측결과 비탈면의 수평변위 증가량은 1.58mm/10일, 네일링의 최대축력은 허용응력의 5.04%로 점검, 요주의 관측강화기준인 수평변위 5.0mm/10일, 네일링 축력 허용응력의 80%보다 낮게 나타나, 비탈면의 안정성에 문제가 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 두산건설(2008), "강남순환 민자고속도로 5공구 설계보고서"
2. 도담E&C(2005) "발포우레탄 패커를 이용한 압력식 쏘일네일링 공법" 신기술 지정 신청서
3. 김홍택(2001), "Soil Nailing 공법의 과거, 현재, 미래", 도서출판 평문각
4. 김홍택(2001), "쏘일네일링의 원리 및 지침", 도서출판 평문각
5. 김홍택,강인규,권영호,박시삼(1998), "압력분사 그라우트 유효경 평가기법 및 실내모형실험"
6. Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K. & Elias, V.(1990) "Kinematical limit analysis for design of soil-nailed structures", Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1
7. Juran, I. & Elias, V.(1992) "Soil nailed retaining structures: Analysis of case histories", Geotechnical Special Publication, ASCE, No. 12, New York