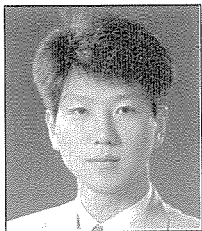


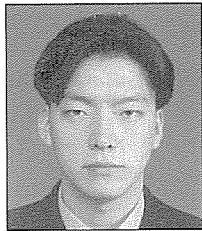
# 터널갱구사면 붕괴원인에 대한 3차원 분석 고찰



(주) 세일엔지니어링 이사  
토질 및 기초기술사  
송 평 현



(주) 선진엔지니어링 이사  
정 찬 규



(주) 세일엔지니어링 차장  
이 재 호

## 1. 서론

00지역 갱구사면에서 대규모의 사면붕괴로 인해 사면 내 및 상부에 인장균열이 발생되었으며 굴착중인 터널 내 균열이 발생되어 이에 따른 원인분석 및 대책을 수립한 사례임.

## 2. 사면현황

사면활동 원인을 파악하기 위해 지표지질조사, 시추조사, BIPS 조사를 실시하였으며 이 조사자료를 토대로 원인분석 및 안정대책을 수립하였음.

### 2.1 사면현황

- 사면높이 : 약45m
- 사면경사 : 상부 1:1.0, 터널갱구부 1:0.3

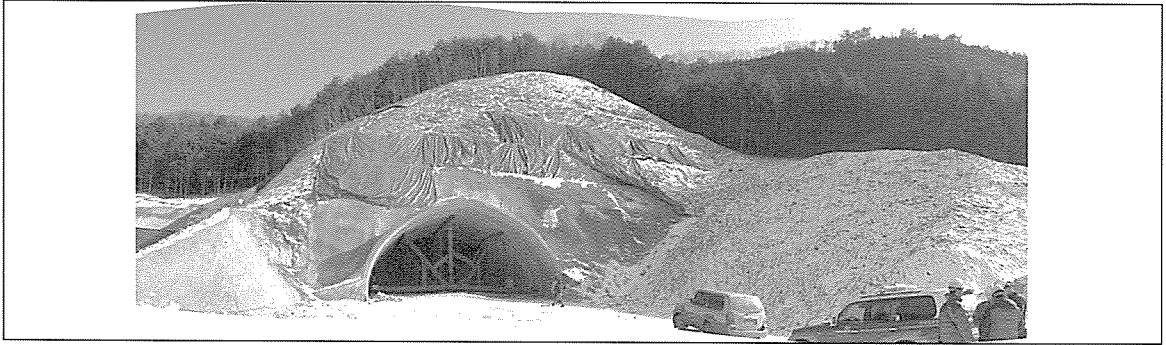
### 2.2 사면붕괴현황

#### 가) 터널내 변형발생

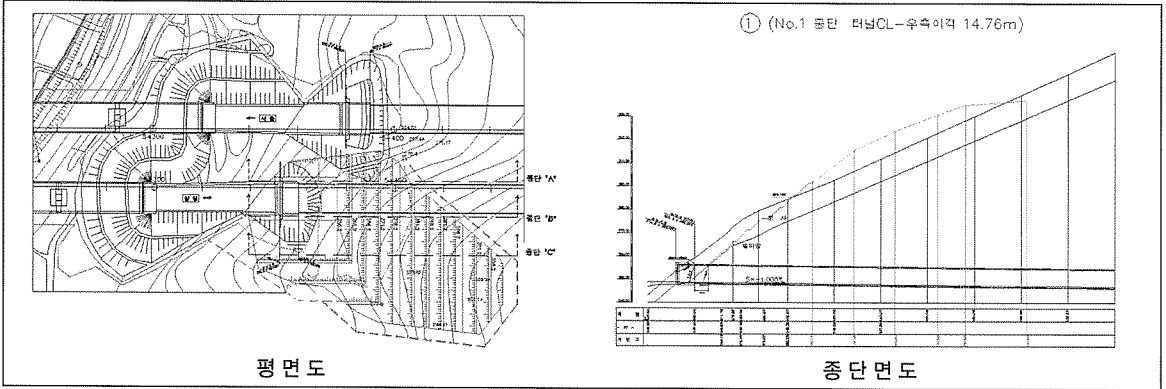
- 사면붕괴시 숏크리트 및 지보재에 변형이 발생되었으며 이 이완영역을 따라 용출이 되고 있음
- 주기적인 계측을 실시하고 있으나 큰 변화양상을 보이지는 않음

#### 나) 사면내 변형발생

- 사면내에 변형이 발생되어 지반이 상당량 이완되어 있음.
- 사면의 붕괴발생으로 미루어 활동면이 현 터널하부에 위치하고 있는 것으로 추정



사면 전경

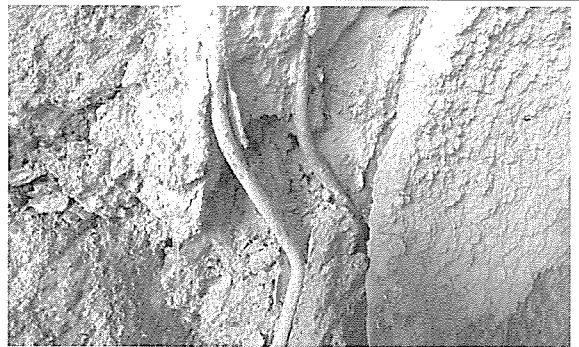


평면도

종단면도



Shotcrete 변상 현황



Lattice Girder 변상 현황

- 인장균열은 위치에 따라 다소 차이를 보이나 약 20cm 정도의 변형이 발생되었으며 현재는 추가 변형은 발생되지 않는 실정임.
- 인장균열의 위치는 능선의 상부를 따라 진전되어 있으며, 인장균열의 규모로 미루어 단층 파쇄대에 의한 평면형 또는 썩기형의 사면붕괴가 발생된 것으로 판단.

### 3. 조사결과

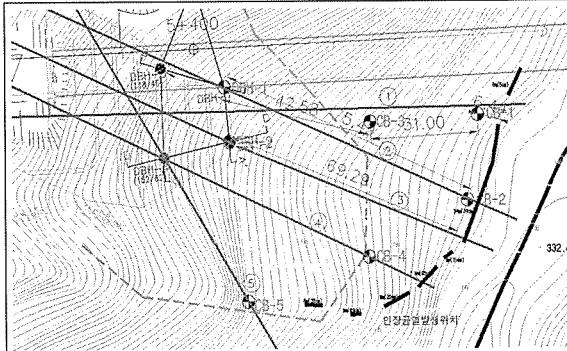
붕괴원인을 분석하기 위하여 지표지질조사, 시추조사, 시추공영상촬영등을 실시하였으며 대표적인 조사결과는 다음과 같음. (지면관계상 개략 언급함)



전체 사면붕괴 현황



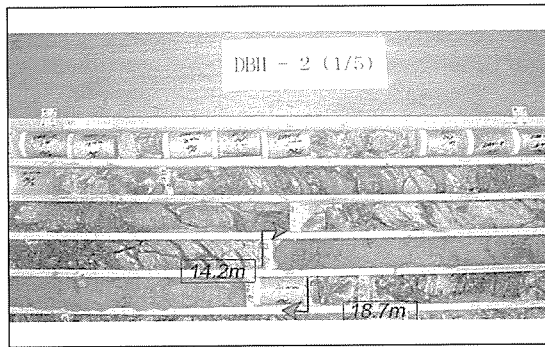
상세 붕괴현황



인장균열 발생 현황 평면도



사면상부 인장균열 발생 현황



대표 시추코아 - 점토층

흔적이 발견됨.

○ 시추조사결과

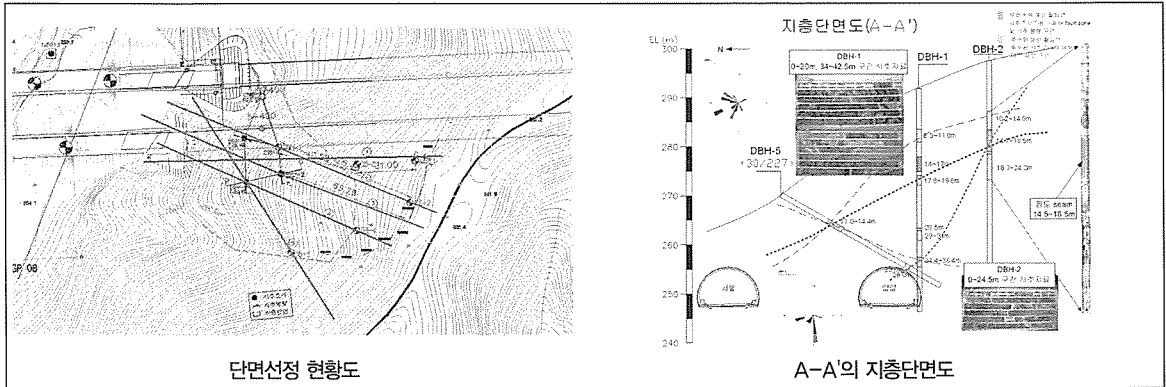
- 시추조사결과 최상부의 풍화대층과 그 하부에 기반암은 흑운모편암이 분포.
- 기반암인 연암층은 전체적으로 파쇄가 심하여 core loss 구간이 많고 절리 및 편리면은 풍화되었으며 방해석 및 점토질 물질이 1~5mm 두께로 협재되어 분포하며 TCR 10~100%, RQD 0~59%의 범위를 보임.

○ 터널내부 지반상태

- 엽리면의 발달이 우세하고 절리의 간격이 조밀하고 절리틈의 이완이 심해서 이탈되는 암블록 관찰됨.
- 벽체에서 다수의 균열이 관찰되고, 터널 지반의 이동

#### 4. 활동면 추정

- 다양한 단면에서 활동면을 추정하였으나 지면관계상 대표단면 A-A 단면 1개에 대하여 언급하도록 함.

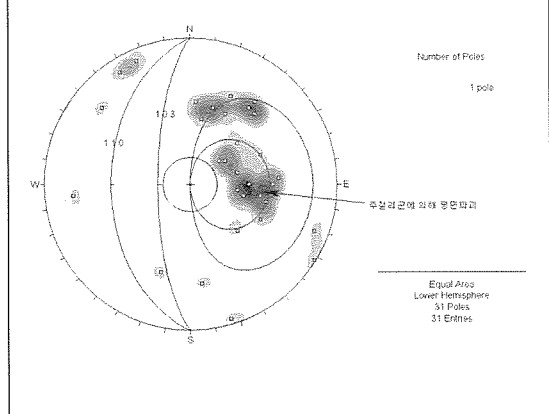


- 절리 및 단층에 의해서 썩기형의 붕괴가 예상되며, 우측 계곡부의 인장균열에 의해서 터널 우측 사면의 파괴 예상.
- 터널 입구 우측사면은 사면의 우측 계곡부에 발생된 연장이 긴 인장균열과 같은 방향이므로 인장균열의 영향을 받을 것으로 예상됨.
- A-A'단면에서 추측되는 예상 활동면의 경사방향을 고려할 때, 단층이나 지층 내부에 존재하는 활동면의 경사 방향이 터널 방향으로 경사졌을 가능성이 높다고 판단.
- 따라서 인장균열과 유사한 방향으로 형성된 터널 입구 우측사면에서 붕괴가 발생할 가능성이 있다고 판단.

### 5.1 평사투영망을 이용한 사면안정검토

#### ▶ 사면안정검토결과

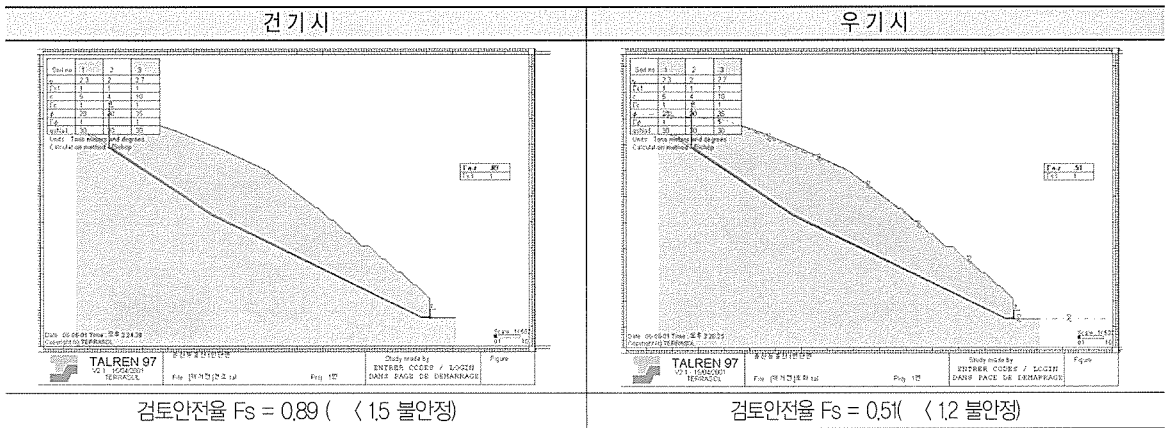
- 조사된 주불균연속면에 의해서 평사투영법에 의한 사면안정 해석을 실시하면, 국부적인 사면방향으로 경사진 불연속면에 의해 평면파괴의 가능성이 매우 높음.



## 5. 사면안정성 검토

표 1. 해석물성치

구 분	단위중량( $t/m^3$ )	점착력( $t/m^2$ )	내부마찰각( $^\circ$ )	비 고
토 사	23	5.0	28	
활동면	20	1.5	20	특정파괴면
연 암	27	10.0	35	



### 5.2 한계평형식을 이용한 사면안정검토

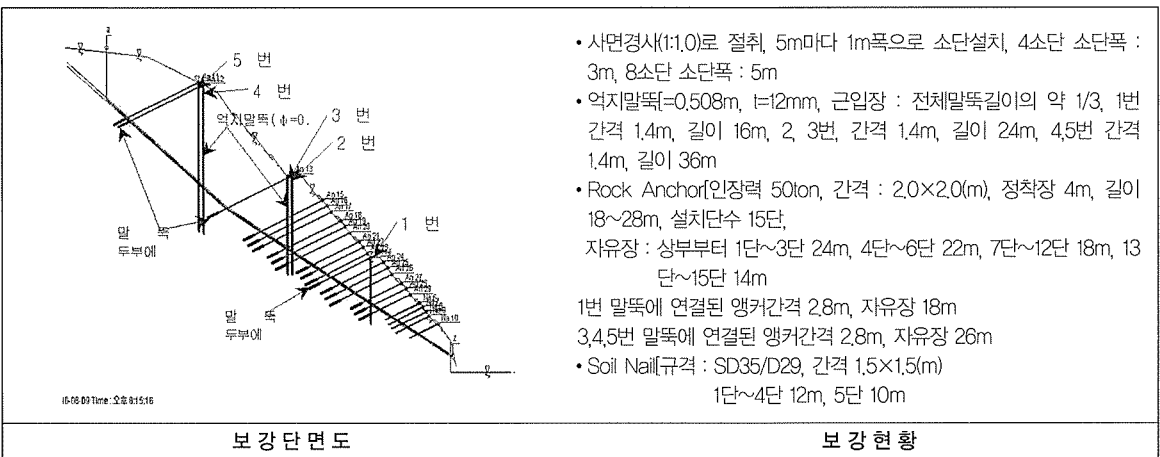
- 한계평형 해석결과, 특정파괴면 해석에서 우기시와 건기시의 안전율이 기준 안전율을 만족하지 못함.

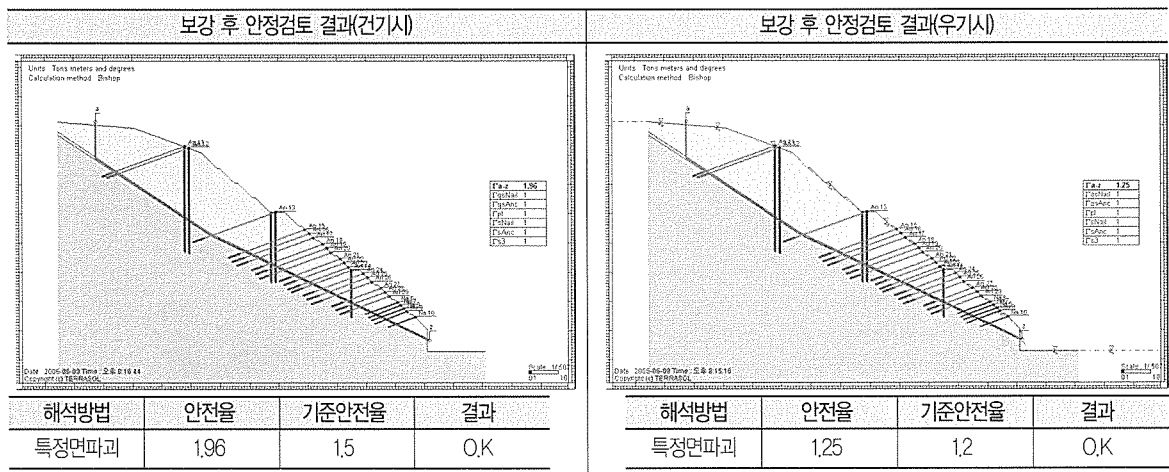
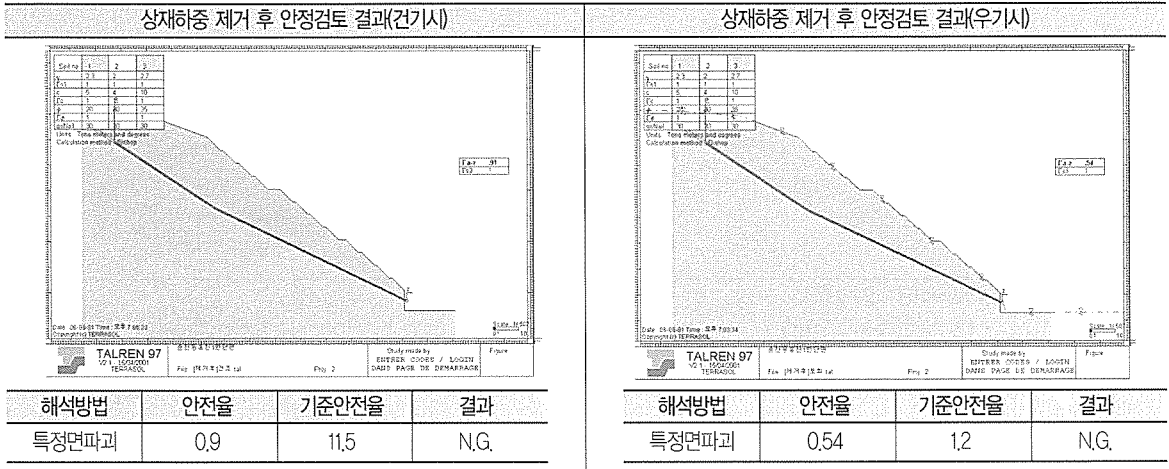
### 6.1 한계평형에 의한 안정성 검토 (TALREN)

상재하중 제거 후 및 보강후에 대한 안정성 검토를 실시하였으며 상재하중 제거 후 안정성 검토결과 기준안전율을 만족하지 못하였으며 보강을 실시한 경우 안정성 검토검토결과 기준안전율을 만족하였음.

## 6. 사면안정 대책공법

- 본 사면은 대규모의 산사태에 가까운 규모를 보이므로 다음과 같이 상재하중제거+역지말뚝+앵커보강공법 등의 복합적인 보강방안으로 대책을 수립하였음.





### 6.2 3차원 해석결과

터널 갱구부에 형성된 비탈면은 노선을 따라 좌, 우측 비탈면 및 배면 비탈면의 복합적인 비탈면을 형성하고 있다. 또한 지형형상에 따라 비탈면의 형상이 상이하여 3차원적인 복잡한 형상을 보이고 있어 2차원 안정해석은 원지반의 형태에 따른 편토압의 영향, 보강재의 상호작용에 의한 영향, 단계시공에 의한 안정성 등의 복합적인 영향을 반영하는데 한계가 있어 3차원 안정해석을 실시하였다.

적용 프로그램은 연속체로 이루어진 구조물이나 지반에 외적인 경계조건이 주어지면 그에 해당하는 내부변수를 계산하는 유한요소방법(Finite Element Method) 프로그램인 PENTAGON 3D를 이용하였다.

#### 1) 해석 모델링

본 비탈면 안정해석에 있어서 원지반, 터널라이닝, 터널내 Rock Bolt, 사면보강재(Anchor, Nailing, 역지말뚝) 등에 대한 3차원 모델링은 다음과 같이 실시하였다.

구분	내용	모델링
원지반	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원지반 : Solid 요소                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 토사, 파쇄대, 암반층의 순서로 모델링</li> <li>- 사각형, 삼각형 요소망으로 작성</li> </ul> </li> </ul>	
터널라이닝 및 Rock Bolt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널라이닝 : Shell 요소                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현 시공단계까지 모델링</li> <li>- 두께 : 16mm</li> </ul> </li> <li>• Rock Bolt : Truss 요소                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 길이 : 4m</li> <li>- 간격 : 종방향 1.0m, 횡방향 1.5m</li> <li>- 재원 : SD35/25mm</li> </ul> </li> </ul>	
사면보강 (Anchor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anchor : Truss 요소                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 길이 : 12~30m</li> <li>- 간격 : 2.0m×2.0m</li> <li>- 재원 : 인장력 50tcm</li> </ul> </li> </ul>	
사면보강 (Nailing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nailing : Truss 요소                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 길이 : 8~16m</li> <li>- 간격 : 1.5m×1.2m</li> <li>- 재원 : SD35/29mm</li> </ul> </li> </ul>	
사면보강 (역지말뚝)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 역지말뚝 : Truss 요소                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 길이 : 15~30m</li> <li>- 간격 : 1.2~1.4m</li> <li>- 재원 : D508mm, T=12mm</li> </ul> </li> </ul>	

## 2) 단층파쇄대 모델링

본 비탈면 안정해석이 있어서 비탈면 내에 존재하는 단층파쇄대는 노선진행 방향에 대하여 28° 내외의 각도로 존재하며 층후는 1.0m 내외로 분포한다. 분포범위는 비

탈면 상부에 발생한 인장균열을 기준으로 분포하부까지 연장되어 있으며 이에 대한 모델링은 다음과 같이 실시하였다.

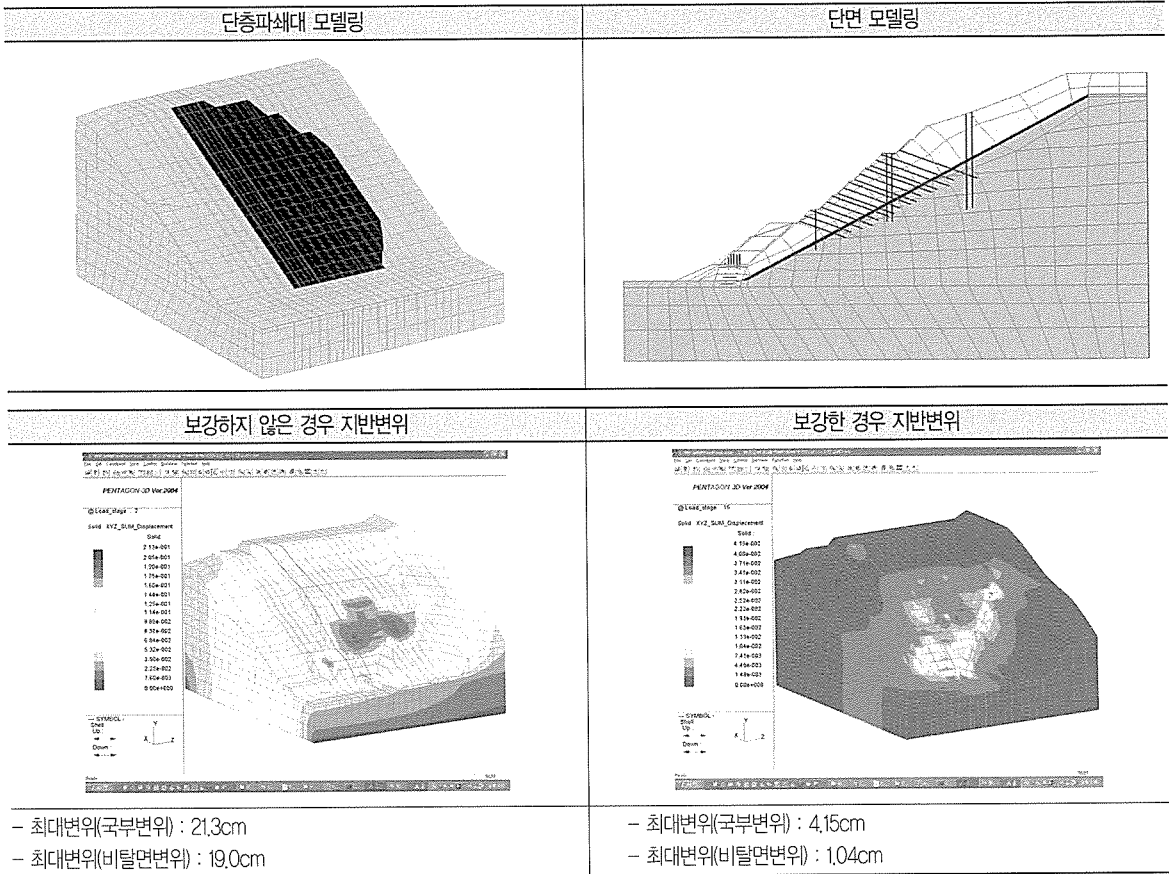


표 2. 원지반 물성치

구 분	단위중량 (tonf/m <sup>3</sup> )	점착력 (tonf/m <sup>2</sup> )	내부마찰각 (°)	탄성계수 (tonf/m <sup>2</sup> )	비 고
토 사 층	2.3	5.0	28	10,000	
단층파쇄대	2.0	1.5	20	3,000	활동면
암 반 층	2.7	10.0	35	500,000	

### 3) 해석 물성치

본 비탈면 안정해석시 원지반 및 각종 보강재의 물성치는 토질조사결과, 역해석 및 여러 문헌자료 등을 종합 분석하여 선정하였으며 선정된 물성치는 표 2, 3과 같다.

표 3. 터널지보재 및 사면보강재 물성치

구 분	재원	탄성계수 (tonf/m <sup>2</sup> )	단위중량 (tonf/m <sup>3</sup> )	비 고
터 널	Shotcrete	두께 : 16mm	1,500,000	2.1
지보재	Rock Bolt	SD35/25mm	21,000,000	7.8
사 면 보강재	Anchor	50Ton	21,000,000	7.8
	Nailing	SD35/29mm	21,000,000	7.8
	역지달뚝	D508mm, T=12mm	21,000,000	7.8

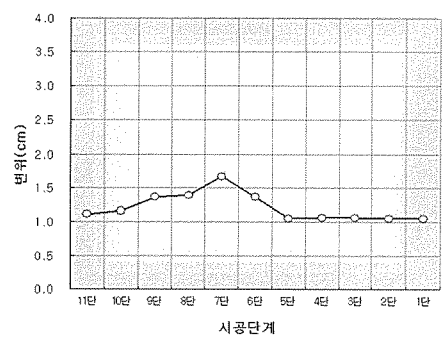
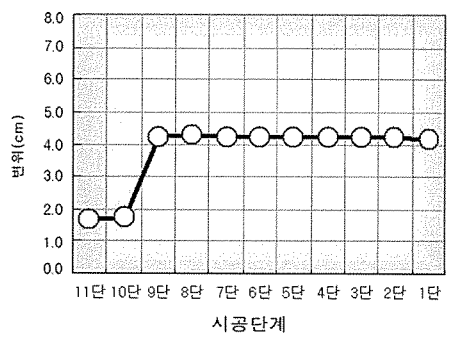
### 4) 해석결과

해석 결과 비탈면 일부지역에서 발생하는 국부변위와 비탈면 전체의 안정성에 영향을 미치는 비탈면 전체변위로 구분할 수 있으며 각 시공단계별 변위는 다음과 같다.

보강을 실시하지 않은 경우 변위는 국부변위 21.3cm, 비탈면 전체변위 19.0cm로 변위가 크게 나타나며 보강을 실시한 경우의 변위는 국부변위 4.13cm, 비탈면 전체변



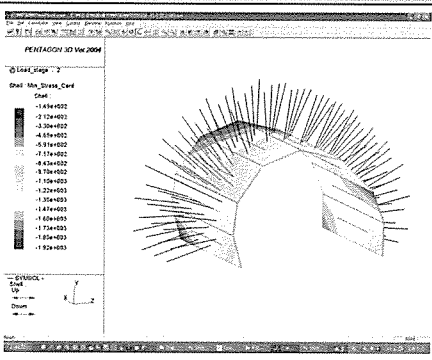
시공단계별 국부변위      시공단계별 비탈면변위



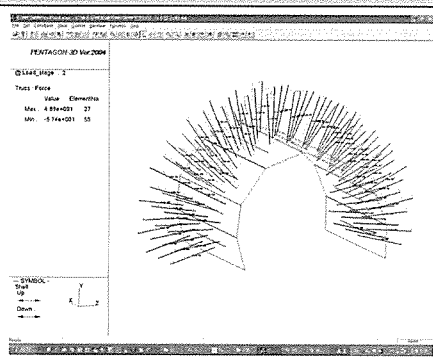
- 범위 : 1.64~4.23cm  
- 시공종료시 변위 : 4.15cm

- 범위 : 1.04~1.66cm  
- 시공종료시 변위 : 1.04cm

보강하지 않은 경우 Shotcrete 응력      보강하지 않은 경우 Rock Bolt 축력

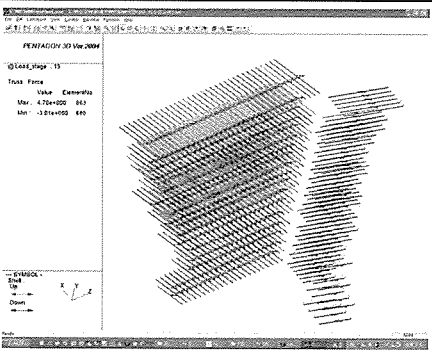


- 최대응력 : 1,920 tonf/m<sup>2</sup>

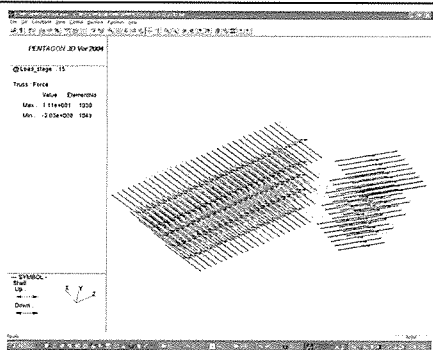


- 최대축력 : 48.9 cm

Anchor 축력      Nailing 축력



- 최대축력 : 4.7 tonf



- 최대축력 : 10.1 tonf



위 1.04cm로 변위가 작게 나타났다.

또한 보강을 실시하지 않은 경우 Shotcrete 최대응력은 1,920tonf/m<sup>2</sup>, Rock Bolt 최대 축력은 48.9tonf로 각각 허용치를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

보강을 실시한 경우 해석결과를 분석하면 Anchor의 최대축력은 4.7 tonf, Nailing의 최대축력은 10.1tonf로 각각 허용치를 만족하는 것으로 나타났으나 앵커에는 작은

축력이 작용하여 다소 과다한 보강을 실시한 것으로 판단되었다.

이상과 같이 검토한 결과 한계평형에 의한 기준안전율을 만족하기 위한 사면 보강시 3차원 해석에 의한 검토결과와 실제보강재에 작용하는 힘은 다소 작게 나타나 2차원 해석에 의한 보강대책이 실제의 3차원거동에 의한 보강방안보다 다소 과다한 보강이 이루어 지는 것으로 판단된다.

- 기초보강 마이크로파일
- 부력대항 영구앵커
- 사면보강 강연선, 강봉앵커
- 재진장형 앵커



독일 DYWIDAG SYSTEM사와  
기술 제휴 협력사업체



(주)토탈지오이앤씨

경기도 안양시 동안구 비산동 1107 안양무역센터 1503호

TEL 02) 2057-9099, 031) 476-9009 FAX 02) 6008-7122

[WWW.TotalGeo.co.kr](http://WWW.TotalGeo.co.kr)

Email : [tgenc@chol.com](mailto:tgenc@chol.com)

*we are a world class leader in hi-tech construction service.*

- ▶ 지반보강 : C.G.S / S.Q.J / S.R.C / MICRO PILE
- ▶ 사면보강 : P.S.N공법, R/B, Nailing, Anchor
- ▶ 배수로 : E.S.P측구(신기술지정)
- ▶ 터널굴착 : P.R.S / N.T.R / T.R.M
- ▶ 건축공사 : 리모델링 & 인테리어



**한미기초개발(주)**

서울시 강남구 도곡동 946-6 동문빌딩 4층

TEL : (02) 577-4530 FAX : (02) 577-4669

Email : [cgshanmi@chol.com](mailto:cgshanmi@chol.com)

[WWW.hanmicgs.com](http://WWW.hanmicgs.com)