

## 완경사 사면붕괴 지역의 안전성 보강대책 연구

### A Study on Reinforcement for Slope Stability of Gentle Inclination Slope Collapse Occurrence Area

이승호<sup>1)</sup>, Lee, Seung-Ho, 황영철<sup>2)</sup>, Hwang, Young-Chul, 조성민<sup>3)</sup>, Cho, Sung-Min,  
노흥제<sup>4)</sup>, Roh, Heung-Je, 이은동<sup>5)</sup>, Lee, Eun-Dong

- 1) 상지대학교 토목공학과 교수
- 2) 상지대학교 토목공학과 전임강사
- 3) 평원엔지니어링 대표이사
- 4) 상지대학교 토목공학과 석사과정
- 5) 원주지방국토관리청, 하천과장

**개요(SYNOPSIS)** : Always slope according to construct road exist danger because of environment unstability factor in slope. Since this research an inclination of slope is gentle slope(1:1.5~1:9.0) but falling happened by conduct of continuous ground movement. And this study considered more economical and efficient reinforcement method for slope stability. The various reinforcement methods are applied to execute examination of slope stability. Applied reinforcement methods satisfied safety factor. And this research region is performing continuous measurement about ground movements and displacements.

**Keywords** : Reinforcement, Safety factor, Slope stability, Falling

## 1. 서 론

우리나라는 산지가 국토의 70%이상을 차지하고 다양한 지질 특성을 띄고 있다. 지형적 여건상 도로 건설시 절개지의 발생은 필연적이며, 자연 상태의 산지를 절개할 경우 자연상태의 지반은 교란되고 안전을 또한 저하된다. 그리고 해빙기나 우기시 지반내 지표수의 유입 등의 영향으로 인하여 산지부 사면 붕락 및 인장균열 등이 발생한다.

본 연구대상지역은 국내에서는 유일하게 고속도로와 국도, 철도가 나란히 위치하여 사면의 붕괴 및 sliding으로 자칫 대형 참사를 불러올 수도 있는 지형적 특성을 지닌 ○○고속도로 건설현장 산지부 사면으로서 사면 경사가 1:1.5~1:9.0으로 완만한 경사를 이루고 있으나, 지반내 다량의 지하수 유입, 원활한 배수 불가와 과년도 적설량 등으로 인한 지속적인 지반의 거동에 의하여 대규모 붕괴가 발생한 지역이다.

본 논문은 연구대상지역의 주변 구조물인 교대 및 계획 교량 측면부 사면보호 옹벽의 안정에 초점을 맞추어 완만한 구배임에도 불구하고 사면붕괴가 발생한 지역에 대한 안정성 검토 및 보강 사례에 대하여 언급하였다.

## 2. 연구대상사면

### 2.1 지형 및 지질

본 연구대상 지역은 산지의 능선과 계곡 사이에 위치하고 산지구배는 원지형상 1:1.5(34°)~1:9.0(6°)로 변화가 많으며, ○○고속도로 공사지에 따르면 거의 평지를 이루고 있는 ABUT 부지는 이전의 산사태 발생 지역이었으며, 산사태 발생시 붕괴된 토사를 제거한 구역인 것으로 확인되었다. 또한 국내에서는 유일하게 기존 고속도로와 국도, 철도가 나란히 위치하고 있다.

본 지역의 지질은 퇴적암류인 평안계홍점토층으로 구성암석은 사암, 셰일, 석회암, 운모편암이 호층으로 산출되고 있으며, 국부적으로 매우 얇은 탄층이 중간에 협재하고 있다.

### 2.2 사면붕락 발생 현황 및 원인추정

#### 2.2.1 현황

사면의 인장균열 3개소에서 관찰되었으며, 횡단상으로 용지경계선으로부터 10.0m지점에서 87.56m지점까지 3단계 침하현상이 광범위하게 발생하였다.(Fig 2.1참조)

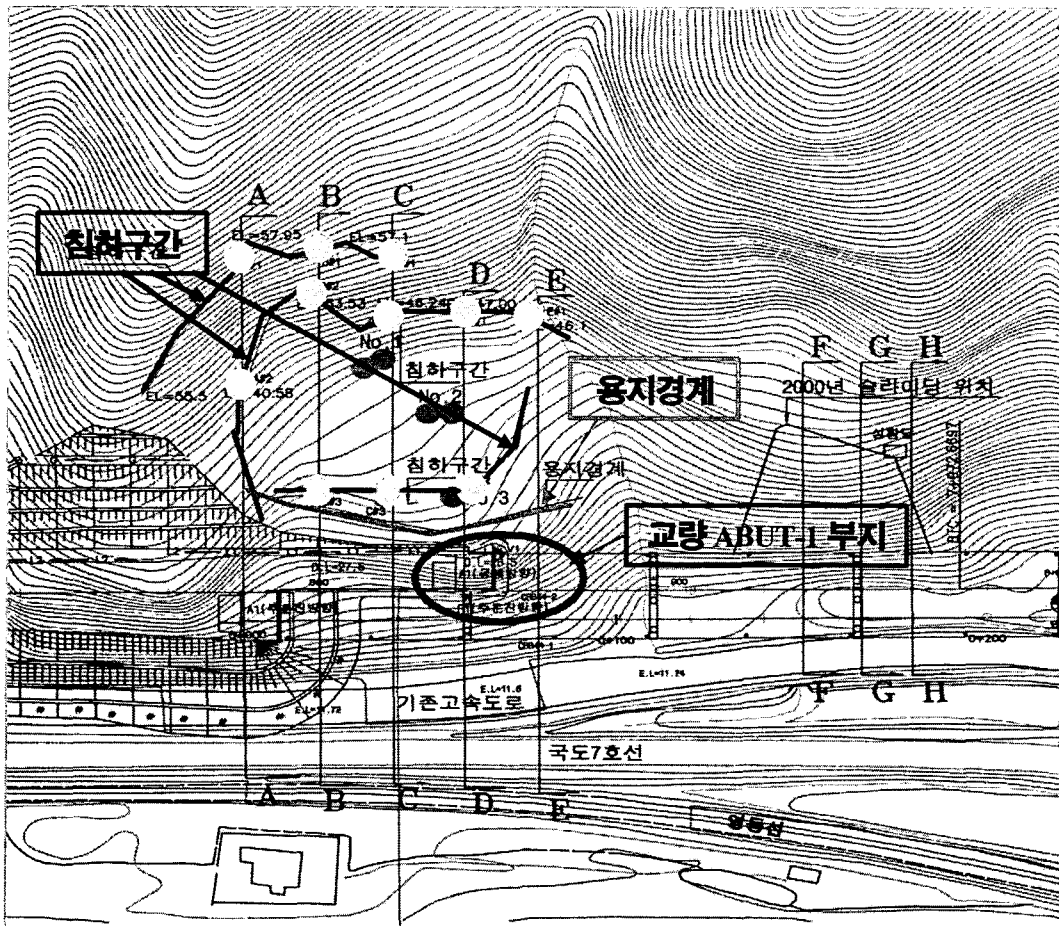


Fig 2.1 사면 활동 평면도

지반 이동거리는 1~5m 정도로 관찰되었고, 최상단 사면붕괴는 자연 현상에 의해 오래전에 발생한 것으로 추정되며, 중간 및 최하단 사면붕괴 및 지반 인장균열의 경우 2001년에

발생한 것으로 추정된다. 인접교량 ABUT-1 인접부 상부 사면에서 폭 0.3~1m, 깊이 약 1m정도의 인장균열이 발생하였으며, 최하단 지반 균열은 폭 약0.5m, 심도 약 1.5m로 사면 붕괴 보다는 인장 균열에 속한다. 최하단 지반 인장 균열부는 평탄한 형태이며, 그중 한 지점은 2m 정도 깊이의 웅덩이가 형성되어 있다. 본 연구대상 사면의 사면붕괴 발생이력을 요약하면 아래와 같다.

- ○○고속도로 공사로 인해 절토 사면 형성
- 기존 ○○고속도로 준공후 인접교량 ABUT-1 지점 산사태 발생
- 보강공법으로 산사태 붕괴지역 토사 제거
- 1997. 4 ○○고속도로 확장 실시설계 시행
- 2001. 4 ○○고속도로 확장공사 인접교량 기초부 굴착
- 2001. 4 인접교량 ABUT-1 굴착시 기존 산사태 발생지역 상부 사면의 인장균열부에서 급속한 변위 진행

### 2.2.2 사면붕괴 발생 원인추정

본 사면의 붕괴 현상은 전체적으로 보아 자연적인 기반암의 노령화에 의한 “산지의 평지화” (조산의 반대의미) 진행과정중의 한 단계로 볼 수 있다. 사면 붕괴 및 균열 발생 주요 원인은 원지반 내에 다량의 지하수유입 및 지반내 원활한 배수가 불가능하여, 과년도 적설량이 붕괴의 직접적인 원인으로 추정할 수 있다.(Fig2.2 참조)

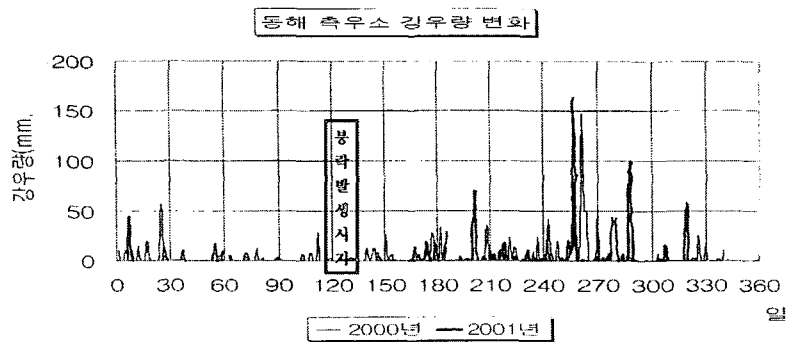


Fig 2.2 동해측우소 강우량 변화

Table 2.1 지표수 유입면적 및 최대유입량

구분	상부사면	하부사면
지표수 유입면적(m <sup>2</sup> )	5,093m <sup>2</sup>	9,072m <sup>2</sup>
강우량(2000. 01 일 최대)	160mm	160mm
최대 유입량	814.9m <sup>3</sup>	1,451.5m <sup>3</sup>

### 3. 붕괴원인 분석을 위한 시추조사 및 계측결과

본 연구대상 사면에서는 총11개소의 조사지점을 선정하여 시추를 시행하였으며, 시추조사결과 각각의 토층 및 암층의 현황은 다음과 같으며 현장시추를 통하여 실험한 투수시험결과는 다음과 같다.(Fig 3.1, Table 3.1, Table 3.2 참조)

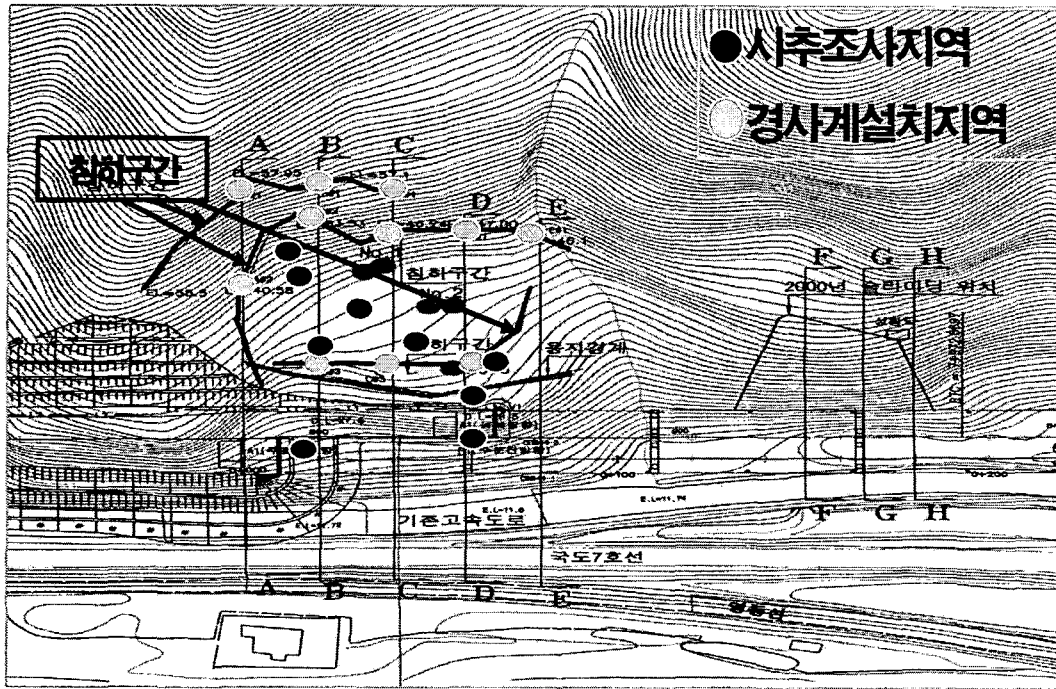


Fig 3.1 현장시추 및 계측지역 평면도

Table 3.1 현장시추 결과

구분	지층두께 (m)	표준관입시험에 의한 N치(회/cm)	토질분류	비고
표토층	1.0m	-	실트질 모래	-
붕적토 및 충적토층	4.7~9.0m	8회/30cm~50회/30cm	SM, GP-GM, SP	-
풍화잔류토층	1.0~9.0m 심도에서 0.9~7.3m 두께로 분포	8회/30cm~44회/30cm	SM, ML	-
풍화암층	5.3~12.0m 심도에서 0.3~7.8m의 두께	-	암편석인 SM	기반암이 풍화되어 흙으로 변해 가는 과도기적 상태의 지층
연암층	5.6~19.8m 이하 심도 분포	-	SM	TCR= 23%~100% RQD=0~35%

Table 3.2 현장투수시험결과표

심도	지층	투수 상태	
		투수 깊이	투수 계수
0.0~6.0m	붕 적 토 층	2.0~3.0m	완전누수
		3.5~4.5m	$2.813 \times 10^{-4}$
		5.0~6.0m	완전누수 · 시험불가
6.0~10.8m	풍 화 잔 류 토 층	6.0~7.5m	완전누수 · 시험불가
		8.0~9.0m	$9.389 \times 10^{-4}$
		9.5~10.5m	$7.944 \times 10^{-4}$
10.8~13.2m	풍 화 암	완전누수로 인해 시험불가	
13.2~21.2m	연 암	13.6m : 완전누수	

본 연구대상 사면의 추가 붕괴를 방지하고 사면의 활동성 계측, 활동면의 깊이, 형상 등의 계측, 붕괴요인 감시계측으로 사면활동의 주요 요인 파악을 위하여 계측을 실시하였다.

경사계를 설치하여 사면붕괴에 대한 지반내의 수평변위의 발생방향, 크기, 속도 등을 측정하는데 이용되며, 측정된 변위를 설계치와 비교하여 지반변형의 진행속도를 관측하여 갑작스런 지반의 변형에 미리 대응하는 방안수립에 활용하였다.

경사계를 이용한 본 사면 붕괴지역의 변위측정결과 1~3mm 변위량이 계측되었다.

#### 4. 사면안정성 확보를 위한 보강방안

현장자료 및 계측자료, 시추조사자료 등을 참고로 파괴형상을 추정하여 두개 대표단면 (I-I단면, J-J단면)에 대한 기초 터파기 전과 터파기 후 원지반에 대하여 한계평형해석을 이용하여 안정성검토를 실시한 결과 불안정한 것으로 계산되어 보강대책 수립이 필요한 것으로 판단되었다.(Fig4.1, Fig 4.2, Fig 4.3 참조) 또한 적용한 지반물성치는 기존의 토질조사 보고서를 참고로 역해석하여 적용하였다.(Table 4.1 참조)

대책공법은 크게 I-I단면의 ABUT-1의 안정성확보를 위한 보강과 J-J단면의 옹벽에 대한 안정성확보를 위한 대책으로 나누어 강구하였다. 사면보강공법은 활동력에 대해 저항력을 크게 하여 사면의 안정을 이루는 방법을 고려하였으며 앞으로 시공되어질 공사를 고려하여 보강대책공법을 강구하였다. 전체사면 구간(I-I 단면)역지말뚝은 강관과 안쪽으로 H-pile을 시공하고, 강관과 H-pile사이의 일치거동을 위하여 중간에 Cement로 충전시켜 보강하는 방법을 강구 하였다. 또한 ABUT-1 기초 터파기 구간에 대해서 보강 시공 중 표토 및 붕적층의 유실을 방지하기 위하여 Soil Nailing으로 보강하도록 하여 안정한 시공이 되도록 하였다.

옹벽(J-J 단면)에 대한 안정성 확보를 위하여 검토하였으며 보강은 기존의 옹벽하부에 하부기초를 연암 1m까지 시공하고 옹벽 상단부에 Earth Anchor로 보강하는 방안을 검토 하였다.(Table 4.2참조)

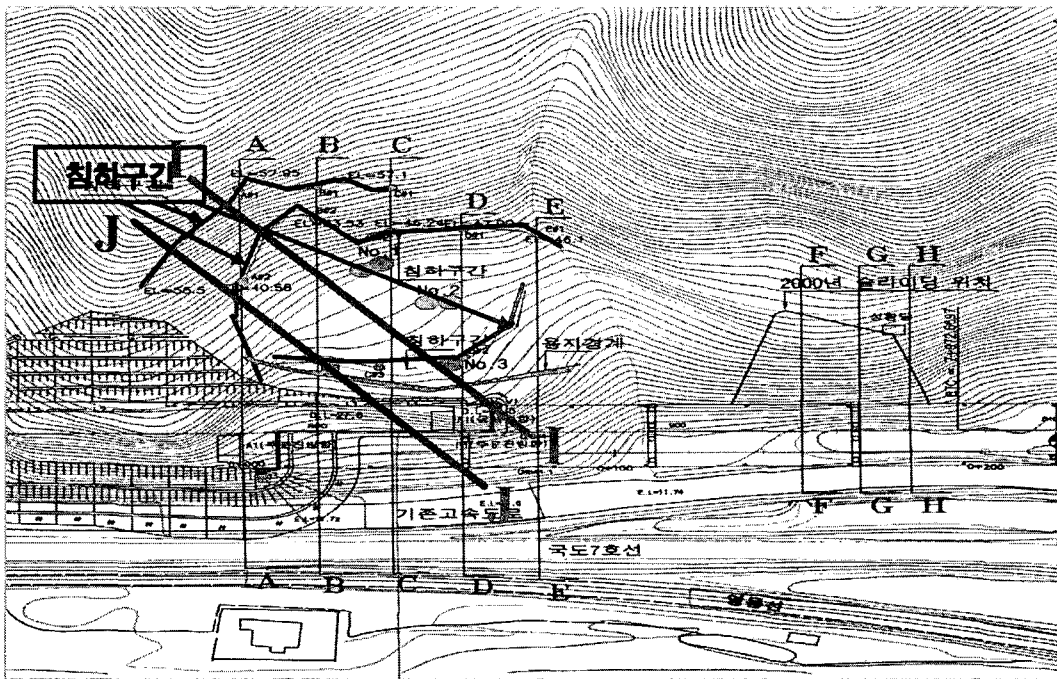


Fig. 4.1 해석대표단면(I-I, J-J 단면)

Table 4.1 해석에 적용한 지반 물성치

구 분	단위중량( $t/m^3$ )	점착력( $t/m^2$ )	내부마찰각( $^\circ$ )
붕적토층	1.75	0.45	28
풍화토층	1.85	0.55	32
풍화암층	1.95	2.0	36
연암층	2.1	10.0	50

Table 4.2 한계평형해석을 이용한 안정해석결과

		파괴 유형	건기시 안전율	우기시 안전율	판정	비고 (기준안전율)
I-I단면 (보강전)	ABUT-1 공사시 기초 터파기전	전체사면 비원호	2.49	1.15	불안정	건기시 F.S > 1.5 우기시 F.S > 1.2
		하부사면 비원호	2.83	1.38	안정	
		상부사면 비원호	2.62	1.19	불안정	
		하부사면 원호	2.12	0.91	불안정	
		상부사면 원호	1.49	0.6	불안정	
	ABUT-1 공사시 기초 터파기 후	하부사면비원호	1.43	0.53	불안정	
		전체사면 비원호	2.07	0.88	불안정	
		하부사면 원호	1.24	0.44	불안정	
		상부사면 원호	1.75	0.76	불안정	
		ABUT-1 공사 완료 후	하부사면 비원호	2.77	1.51	
상부사면 비원호	2.42		1.17	불안정		
하부사면 원호	2.16		1.38	안정		
상부사면 원호	1.49		0.6	불안정		
J-J 단면 (보강전)	옹벽기초 터파기시	전체사면 비원호	2.2	0.94	불안정	
		하부사면 비원호	3.16	1.43	안정	
		하부사면 원호	1.81	0.87	불안정	
	옹벽시공 완료후	하부사면 원호	2.49	1.38	불안정	
I-I 단면 (보강후)	역지말뚝 보강 + Soil nailing	터파기중 전체 비원호	2.2	1.42	안정	건기시 F.S > 1.5 우기시 F.S > 1.2
		터파기중 하부 원호파괴	1.54	1.45	안정	
J-J 단면 (보강후)	옹 벽+Earth Anchor+하부기초말뚝 C.I.P + 상부콘크리트 벽체	하부사면 원호	2.44	1.96	안정	
		하부사면 비원호	3.65	1.52	안정	
		하부사면 원호	3.3	1.52	안정	

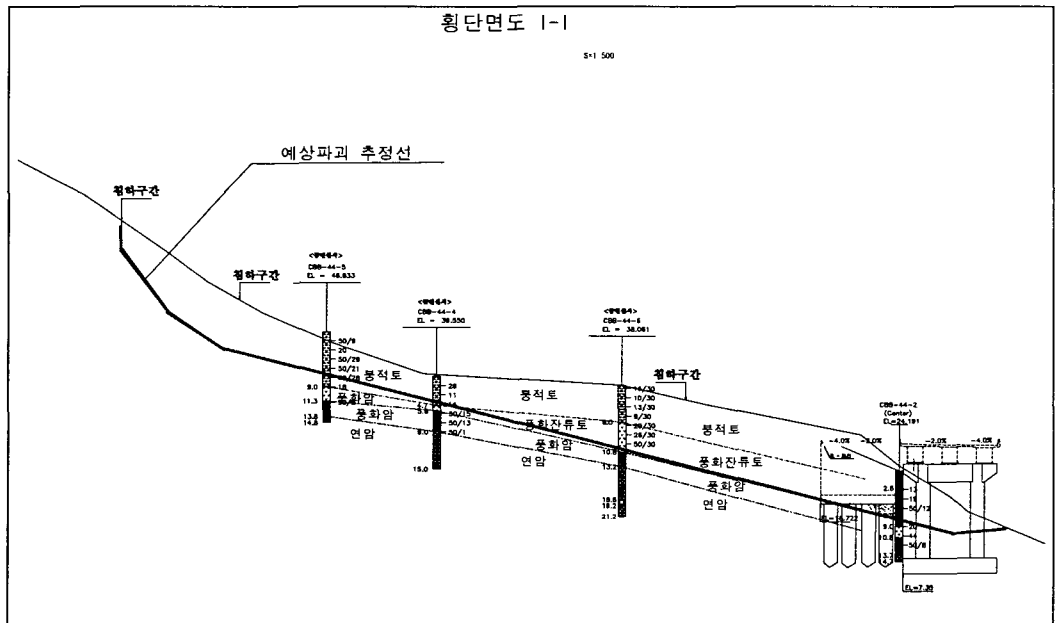


Fig 4.2 대표단면 예상 파괴 추정선 (I-I단면)

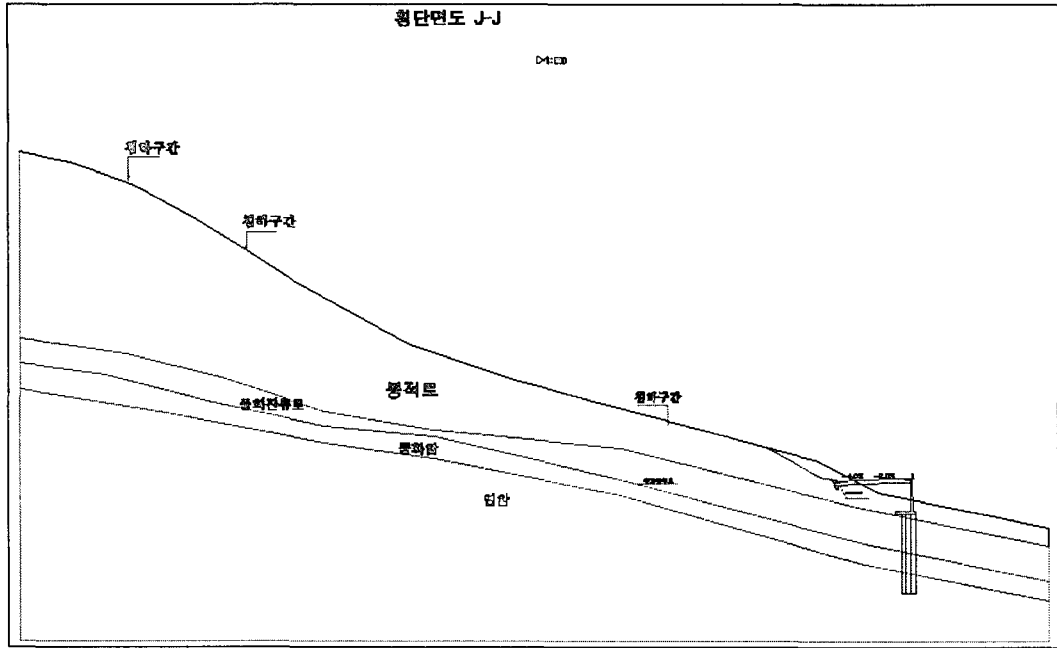


Fig 4.3 대표단면 예상 파괴 추정선 (J-J 단면)

## 5. 대책공법시공 중 계측결과

본 연구대상지역의 지형적 특이성과 대규모 붕괴로 인하여 추가 붕괴 및 재해를 사전에 방지하고 안전하게 시공을 하기 위하여 현장에서는 지속적인 계측을 수행하여 왔다. 사면안정대책공법으로 적용된 억지말뚝, 앵커 등의 활동억지시스템과 사면지반의 거동을 측정하기 위하여 각종 계측장치(지중경사계, 지하수위계, 변형률계, 하중계 등)를 설치하여 지속적인 계측을 수행하였으며, 각종 계측장치로부터 측정된 계측자료와 현장의 공사 진행상황 및 기상조건을 종합적으로 고려하여 사면지반의 거동 및 안정성을 판단하였다. 현장의 계측기 배치현황은 Fig 5.1과 같다.

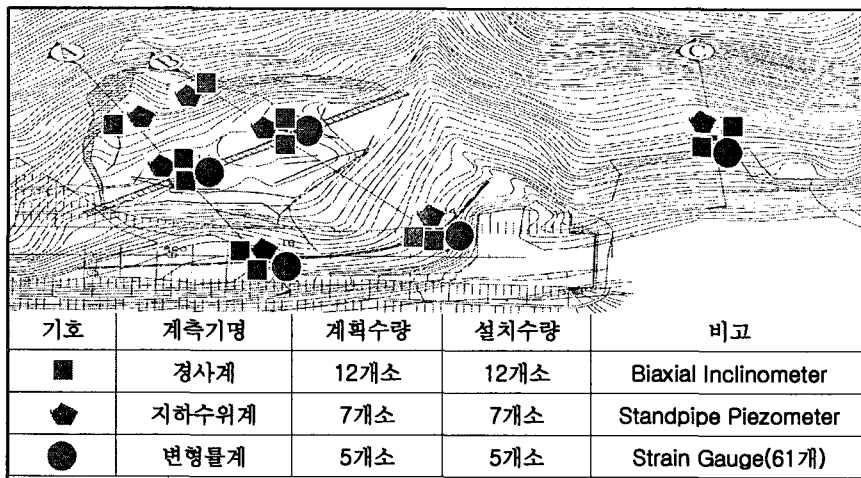


Fig 5.1 계측기 배치도 및 배치현황

현장에서 계측된 2002. 12 한 달 동안의 측정결과를 인용하여 요약하면 다음과 같다.

### 1) 지중수평변위계

경사계 측정결과 억지말뚝 시공에 따른 초기변위 증가 후 그 증가속도가 매우 더디게 나타나고 있어 대부분의 억지말뚝 안정에 별다른 영향은 없으나 일부 말뚝의 경우 2002. 12 현재까지 변위량의 진전이 크고 변형률계의 측정을 통한 응력의 변화 또한 꾸준히 증가하고 있어 탄성변위 영역의 한계에 근접하고 있는 것으로 나타났다.

### 2) 지하수위계

지하수위계 대부분의 수위변화는 크게 나타나고 있지 않으며, 수위변화는 8월 강우의 영향으로 지하수위가 증가한 후 서서히 기존수위로 회복하는 것으로 보고 되었다. 또한 집중호우에 따른 수위증가 후 더 이상의 증가는 나타나고 있지 않으므로 억지말뚝 시공에 따른 지하수의 유출이나 변동으로 인한 사면지반 및 억지말뚝의 안정성에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 조사되었다.

### 3) 변형률계

변형률계의 측정결과를 살펴보면 일부 말뚝을 제외하고 다른 위치에서의 변위 및 응력은 모두 관리기준치 이내의 안정된 상태를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 일부 말뚝의 경우 인접사면의 활동, 집중호우 등의 영향으로 관리기준치(1,333 kg/cm<sup>2</sup>) 대비 최대 89.64%로 나타나고 있으며, 현재 인접사면 보강활동을 실시하고 있어 보강효과에 대한 지속적인 관심과 관찰이 요구된다.

## 6. 결 론

본 연구는 완만한 사면 붕괴발생 지역에 대한 안정성 검토와 보강사례 및 보강실시중의 계측을 통한 지반의 변위 여부에 대하여 연구하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 연구대상 사면은 사면 상부에 3개소의 인장균열이 발생되었으며, 사면의 슬라이딩 방향은 북동쪽을 향하고 있다.

(2) 사면 안정성 검토결과 전 구간에 대하여 매우 불안정한 것으로 검토되어 보강방법을 제시하였고, 보강시공단계에서 안정성 확보와 추가 붕괴 및 균열발생을 방지하기 현재까지 지속적인 계측을 실시하고 있다.

(3) 사면붕괴 발생 사면에 대하여 용지매입 어려움과 현재상태의 토층 현황과 지형적 여건을 고려한 억지말뚝과 앵커공법을 적용하여 한계평형해석방법을 이용한 안정성 검토 결과 안전율은 기준안전율(건기시 1.5, 우기시 1.2)을 만족하였다.

(4) 2002년 12월 한 달 동안의 지중수평변위 측정결과를 보면 일부 말뚝의 경우 변위량의 진전이 크고 변형률계의 측정을 통한 응력의 변화 또한 지속적으로 증가하고 있어 탄성변위 영역의 한계에 근접하고 있으므로 조속한 보강공사가 시행되어야 할 것으로 보고 되었다.

(5) 현재 인접사면 보강활동을 실시하고 있어 보강효과에 대한 지속적인 관심과 관찰이 요구되며, 산마루 측구 등을 설치하여 지표수의 유입을 필히 차단하여야 하며, 시공 중이나 완료 후에도 지속적인 계측을 실시하여 향후 추이를 관찰할 필요가 있다.



## 감사의 글

본 논문은 상지대학교 2001년도 연구지원비로 수행되었습니다.  
감사드립니다.

## 참고문헌

1. 동해고속도로 동해~주문진간 확장공사 2공구 주수교 상부사면 보강대책 보고서, 한국도로공사, 2002.
2. 경부고속도로 구미~동대구간 8차로 확장공사 중 K사면 안정성 검토 연구보고서, 상지대학교 생산기술연구소, 2001.
3. 이승호, "암반사면의 평면파괴조건 고찰", 한국지반공학회, 사면안정위원회 학술발표회 논문집, pp.98-105. 1999.
4. "동해고속도로(동해~주문진간) 확장공사 토질조사 보고서", 한국도로공사, 1997.
5. "한국도로공사 기술자문 보고서", 한국도로공사, 2001.
6. 정형식, 이승호, 유병옥, 황영철, "암반역학", 새론출판사, 1999.
7. 구조물 기초 설계기준, 한국지반공학회, 2001, pp.9-40
8. Hoke, E. & Bray, J, "Rock Slope Engineering", Revised Third Edition. Institute of Mining and Metallurgy, London, 1981.