

*KGS Fall '95 National Conference*  
*28, October, 1995/Seoul/Korea*

**붕괴토층에 위치한 절토사면의 파괴 사례 분석**

*Case Study of Slope Failure on Colluvial Soil*

석정우, JEONG-WOO SEOK\*, 김병일, BYUNG-IL KIM\*\*, 이재훈, JAE-HOON LEE\*\*\*, 김명모, MYOUNG-MO KIM\*\*\*\*, 박용원, YONG-WON PARK\*\*\*\*\*

- \* 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사과정, Graduate student, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l Univ.
- \*\* 정회원, 명지대학교 토목공학과 조교수, Assitant Professor, Dept. of Civil Eng., Myoung-Ji Univ.
- \*\*\* 정회원, 우대기술단 상무이사, Managing Director, Woodai Engineering Consultants Co. Ltd.
- \*\*\*\* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat'l Univ.
- \*\*\*\*\* 정회원, 명지대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil eng., Myoung-Ji Univ.

**SYNOPSIS**

Key elements in slope stability are slope inclination, shear strength, and underground water level. In the case of cut slope, it is important to evaluate proper shear strength parameters and construct in good workmanship.

This paper deals with two cases of slope failure. The main reason of the first failure was a structural rupture of the retaining wall owing to seepage force. The second failure occurred because of strength softening in a steep slope. For the continual slope failure on colluvial soil due to poor drainage, inaccurate shear strength parameters, and poor workmanship, authors analyze the cause of the failure and propose the remedial method.

**1. 서론**

사면의 안정성에 가장 큰 영향을 주는 요소로는 사면 기울기, 지반의 전단강도, 지하수의 영향 등을 들 수 있다. 원지반을 절취하여 사면을 조성하는 경우에는 적절한 지반정수를 설계에 반영하여야 하며, 또한 설계도에 따라 정확하게 시공하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 배수시설의 불량, 지반 강도정수의 부정확한 산정과 정밀치 못한 시공 등으로 연속적인 사면활동이 발생한 경우에 대하여 그 원인과 문제점을 분석하고, 대책방안을 제시하였다. 검토 사면은 20m 이상 두께의 붕괴토층(colluvial soil)으로 이루어져 있으며, 지금까지 세차례에 걸쳐 사면 활동이 발생하였다. 제1차 붕괴는 1987년 단지 조성 공사 도중 일어났으며, 제2차 및 3차 붕괴는 단지 조성이 끝난 후인 1990년과 1994년에 각각 발생하였다. 제1차 사면 붕괴는 집중호우로 지하수위가 지표면까지 상승하여 사면내에 투수가 발생하였기 때문으로 추정되었으며, 본 연구에서는 제2차 및 3차 붕괴에 대하여 그 발생원인 및 대책공법을 연구하였다. 이를 위해 기존 연구 및 조사자료를 검토하고, 새로 현장시추조사(SPT)와 실내시험(직접전단시험)을 실시하여 이를 근거로 극한평형 해석을 수행하였다. 특히, 제2차 붕괴의 경우에는 침투압의 증가로 인한 옹벽의 구조적 파괴를 주원인으로 판단하여, 침투압을 고려한 옹벽의 안정성 검토를 수행하였으며, 제3차 붕괴의 경우에는 사면 기울기가 급한 일부 구간에서의 연화현상을 파괴원인으로 보고 파괴면의 형상으로부터 지반 강도정수를 역해석하고 그 결과를 대책공법을 위한 사면 안정 해석에 이용하였다. 그리고, 분석 결과에 따라 사면 기울기 완화 공법 및 배수 공법 등의 대책방안을 제시하였다.

**2. 붕괴 현황 및 원인 분석**

**2.1 붕괴 현황**

제1차 사면 붕괴는 단지 조성 공사 도중인 1987년 7월에 일어났으며, 활동이 일어난 지역을 포함한 사면에서 강우로 인한 유출현상이 폭넓게 발생한 것으로 보고되었다. 붕괴된 사면의 저면 폭과 사면의 길이는 약 40m 정도이며, 활동깊이는 최고 10m인 것으로 나타났다.

제2차 사면 활동은 1990년 9월 11일, 비교적 대규모로 발생하였다. 옹벽 약 24m가 붕괴되었고, 이로 인하여 발생한 사면 활동으로 법면이 매몰되었

다. 붕괴 후 1, 2단 사면은 양질의 뒷채움 및 말뚝을 이용한 법면부의 보강공사와 동시에 단지 조성 당시의 설계 사면구배(약 29°)로 복구된 것으로 추정되며, 3단 사면은 아래 부분만 일부 복구된 채 대부분은 붕괴된 상태로 방치되었다.

제3차 사면붕괴는 1994년 7월 11일에 제2차 붕괴 끝단으로부터 약 15m 떨어진 사면부에서 비교적 소규모로 발생하였다. 제3차 붕괴가 발생한 3단 사면에 대하여 원 설계도면으로부터 추정된 기울기는 약 29°였으나, 제2차 사면 붕괴시 실측한 자료에 의하면 1, 2단 사면의 구배가 약 33° ~ 34°, 3단 사면은 약 40°로 밝혀졌으며, 이것은 현장답사시 개략적으로 측정한 결과와 거의 일치한다.

제2차 및 3차 사면 붕괴 평면도가 그림 1에 나타나 있다.

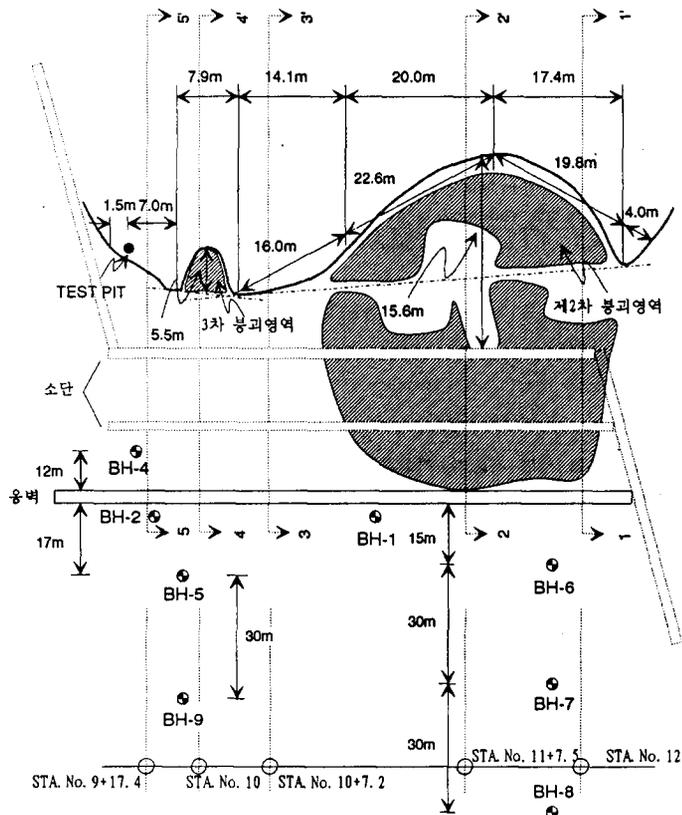


그림 1. 사면붕괴 현황 평면도 및 시추조사 위치도

## 2.2 해석 사면의 지층 구분

제2차 사면 붕괴의 중앙부분인 2-2' 단면과 제3차 사면 붕괴의 중앙부분인 4-4' 단면의 지층구분도는 그림 2, 3과 같으며, 각각의 횡단면도는 그림 4, 5와 같다. 그림 2와 3에 나타난 사면의 지층구분은 그림 1에 나타난 위치에서 실시한 현장시추조사 결과(BH-1, BH-2, BH-5, BH-6, BH-7, BH-9)를 토대로 추정하였다. 또한, 그림 5의 4-4' 단면의 횡단면도에는 단지 조성 당시의 설계 사면구배(약 29°)와 제2차 사면 붕괴 후의 실측 기울기(1단 : 34°, 2단 : 33°)가 표시되어 있다.

2.3 2차 시면붕괴의 원인 분석

제2차 사면 붕괴는 투수성이 비교적 좋은 질토사면에서 집중호우로 인한 지하수위 상승으로 발생한 과도한 하중(침투압)이 벽체에 작용함으로써 옹벽이 구조적으로 파괴됨에 따라 일어난 것으로 판단되었다. 붕괴의 원인을 규명하기 위하여 본 연구에서 수행한 옹벽 벽체의 안정성 검토 내용은 다음과 같다.

2.3.1 설계강도와 작용력 계산

옹벽 벽체의 허용력 계산을 위하여 사용된 부재의 강도 및 강도감소계수는 표 1과 같다[건설부,1992].

표 1. 해석에 사용된 부재의 강도 및 강도감소계수

콘크리트 압축강도, $\sigma_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	철근의 항복강도, $\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	강도감소계수, $\phi$	
		모멘트	전단
210	3000	0.85	0.70

표 1의 자료를 바탕으로 옹벽 지주(stem)에서 계산된 모멘트 및 전단에 대한 설계 강도와 벽체에 작용하는 토압은 표 2와 같다. 옹벽에 작용하는 토압은 Coulomb의 주동토압 산정방법을 이용하여 계산하였으며, 지하수위는 옹벽상단과 일치한다고 가정하였다.

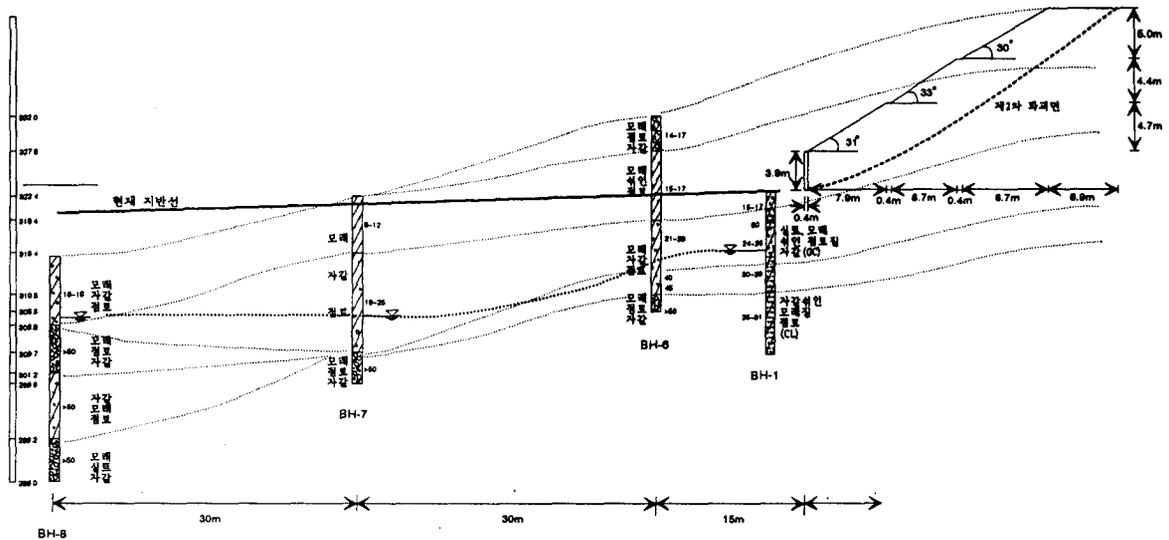


그림 2. 2-2' 단면의 지층 구분도

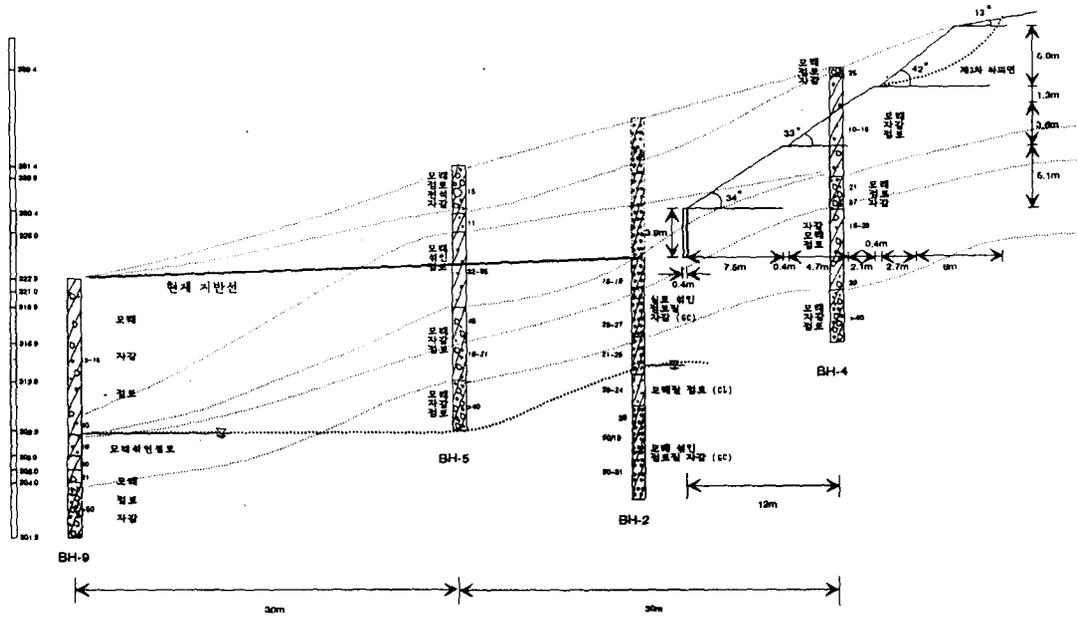


그림 3. 4-4' 단면의 지층 구분도

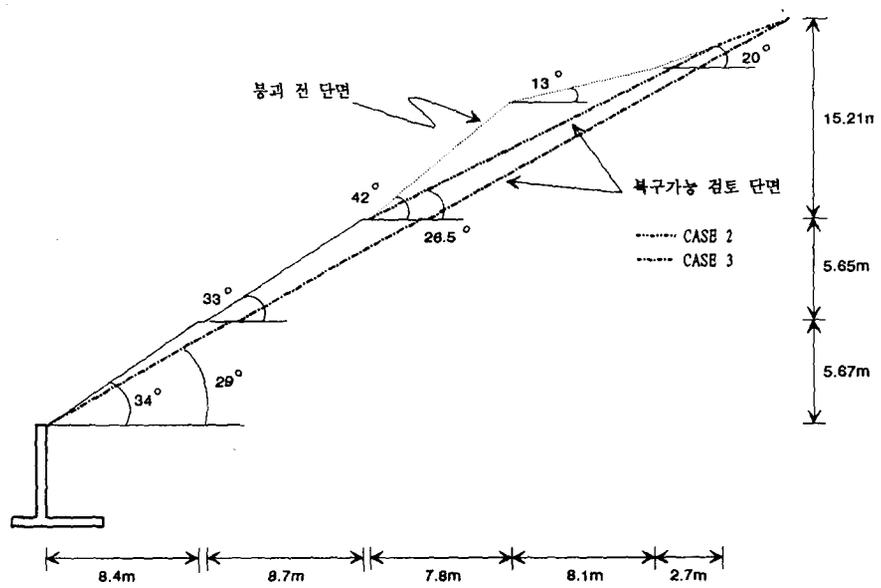


그림 4. 2-2' 단면의 횡단면도

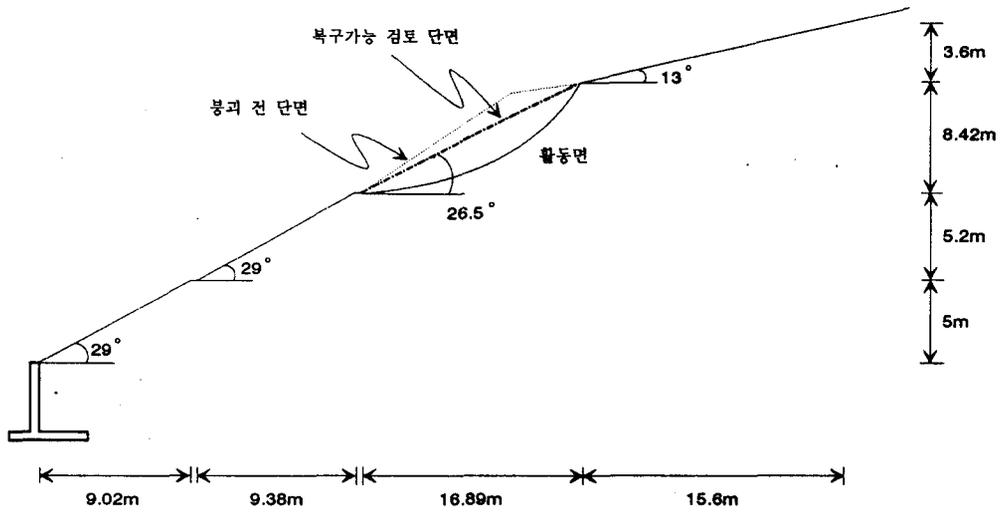


그림 5. 4-4' 단면의 횡단면도

표 2. 벽체 지주(stem)의 설계 강도와 벽체에 작용하는 작용력의 계산

구분		계산값
설계강도	모멘트	18.16 t·m
	전 단	17.74 t
작용력	토 압	$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_{sub} H^2 = \left(\frac{1}{2}\right)(0.75)(0.7)(3.5)^2$ $= 3.22 \text{ t/m (작용방향 } \angle 16^\circ \text{)}$
	정수압	$P_w = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 = \left(\frac{1}{2}\right)(1.0)(3.5)^2$ $= 6.13 \text{ t/m}$

### 2.3.2 지주(stem)의 안정성 검토

모멘트와 전단에 대한 안정성을 검토하기 위하여 2.3.1절에서 계산된 토압과 정수압에 하중계수를 곱하여 옹벽에 작용하는 합력,  $P_u$ 를 식 (1)과 같이 계산하였다. 하중계수는 토압의 경우에 1.7을, 정수압의 경우에는 1.3을 사용하였다[건설부,1992].

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1.7 \times P_a \times \cos 16^\circ + 1.3 \times P_w \\
 &= (1.7)(3.22)(\cos 16^\circ) + (1.3)(6.13) \\
 &= 13.23 \text{ t/m}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

표 3. 모멘트와 전단에 대한 옹벽 지주(stem)의 안전률

구분	작용력	저항력	안전률
모멘트	$M_u = 13.23 \times (3.5/3)$ $= 15.44 \text{ t} \cdot \text{m}$	18.16 t·m	1.18
전 단	13.23 t	17.74 t	1.34

옹벽 벽체에 대한 안정성 검토 결과, 표 3에 나타난 바와 같이 모멘트에 대한 안전률은 약 1.18, 전단에 대한 안전률은 1.34인 것으로 계산되어 지하수위가 옹벽 상단과 일치하는 경우에 대해서 옹벽은 안전한 것으로 나타났다. 그러나, 지하수위가 옹벽 상단보다 높게 형성되어 토체 내에 정수압보다 큰 침투압이 작용하는 경우에는 옹벽이 파괴될 가능성이 있다. 표 3에서 살펴보면, 전단에 대한 안전률보다는 모멘트에 대한 안전률이 작게 산정되므로 모멘트에 의한 옹벽의 파괴가 먼저 일어날 것이다. 본 연구에서는 침투압에 의한 옹벽의 파괴를 야기시키는 지하수의 위치를 결정하기 위하여 옹벽 파괴 시 모멘트에 대한 안전률을 1.0으로 가정하고, 그 때의 지하수위를 역산하였다.

침투압에 의하여 옹벽에 작용하는 모멘트를  $M_{seepage}$ 라 하면, 모멘트에 대한 안전률이 1.0이 되기 위해서  $M_{seepage}$ 는 식 (2)에 나타난 것과 같이 설계 모멘트 강도에서 토압에 의한 모멘트를 뺀 값과 같게 되어야 한다.

$$\begin{aligned}
 M_{seepage} &= M_d - M_{soil} \\
 &= 18.16 - (1.7)(3.22)(\cos 16^\circ)(3.5/3) \\
 &= 12.02 \text{ t} \cdot \text{m}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

식 (2)에서 계산된 침투압 모멘트,  $M_{seepage}$ 로부터 식 (3)과 같이 침투압,  $F_{seepage}$ 와 침투가 발생하는 단위부피,  $V$ 를 구한다. 사면내의 침투는 사면 기울기와 평행하게 일어나는 것으로 가정하고, 침투압,  $F_{seepage}$ 의 작용 위치는 그림 6과 같이 옹벽 높이의 1/2 지점인 것으로 고려하여 침투압을 계산한다. 옹벽의 파괴가 일어나는 지하수의 위치는 식 (3)에서 계산된  $V$ 를 만족시키는 지하수위를 찾을 때까지 시행 착오법(trial & error method)을 적용하여 구한다.

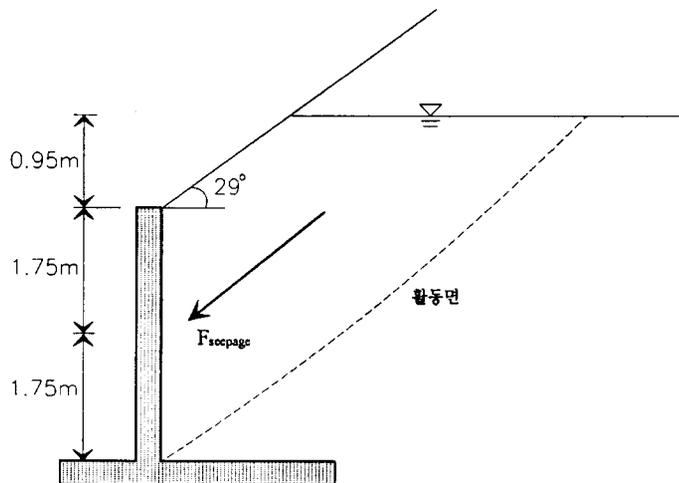


그림 6. 침투압의 작용 위치

$$\begin{aligned}
F_{seepage} \times \cos 29^\circ \times (3.5 / 2) &= 12.02 \text{ t} \cdot \text{m} \\
\therefore F_{seepage} &= 7.85 \text{ t} \\
F_{seepage} &= \gamma_w \cdot i \cdot V \\
7.85 &= (1)(\sin 29^\circ)(V) \\
\therefore V &= 16.19 \text{ m}^3
\end{aligned}
\tag{3}$$

V가 16.19m<sup>3</sup>인 경우에 대하여 시행착오법을 적용한 결과, 지하수위는 용벽 상단으로부터 위로 약 0.82m 지점에 위치하며, 이보다 위에 지하수위가 존재하는 경우에는 침투압에 의해서 용벽이 무너질 수 있음을 알 수 있다.

#### 2.4 3차 사면붕괴 원인 분석

용벽 붕괴가 사면 활동의 주원인인 제2차 사면 붕괴와는 달리, 사면 기울기가 42° 로 큰 제3차 사면 붕괴는, 집중호우로 사면 흩이 포화되면서 연화현상에 의해 지반강도가 저하된 것이 사면 붕괴의 주원인으로 판단되었다. 이것은 제3차 붕괴 지역의 상단 근처(그림 1의 TEST PIT 위치)에서 채취한 블록 샘플(block sample)의 직접 전단 시험 결과에서도 알 수 있다. 이 시험 결과는 비록 교란으로 인하여 정량적인 가치는 없으나, 자연상태에서의 강도정수  $c = 0.7\text{t}/\text{m}^2$ ,  $\phi = 19.5^\circ$  가 완전포화시에는  $c = 0.2\text{t}/\text{m}^2$ ,  $\phi = 15^\circ$  로 떨어져 포화도에 따라 지반강도가 약해지는 경향을 잘 설명해 주고있다. 따라서, 사면활동시의 강도정수( $c, \phi$ )를 파악하는 것이 안정성 검토에 있어서 중요하며, 이를 위해 PC-SLOPE를 이용하여 사면활동시의 강도정수를 역해석하였다.

##### 2.4.1 강도정수의 역해석

사면활동시의 지반강도정수를 추정하기 위해 다음과 같은 절차로 역해석하였다. 그림 7은 제3차 사면 붕괴를 나타낸 단면도로서, 지반 강도정수 추정을 위해 사용되었다.

##### (1) 활동시의 안전율 가정

붕괴토층 사면에서 사면활동 중의 안전율을 1.0으로 가정한다.

##### (2) 점착력( $c$ ) 산정

사면 활동시, 식 (4)로부터 활동 토괴의 평균수직두께( $D$ )를 이용하여 점착력( $c$ )을 구할 수 있다[임승태 역,1994]. 제3차 붕괴 지역에서 관측된 활동토괴의 평균수직두께는 약 2.6m이므로, 점착력은  $0.26\text{t}/\text{m}^2$ 으로 계산된다.

$$\begin{aligned}
c &= 0.1 \cdot D = (0.1)(2.6) \\
&= 0.26 \text{ t}/\text{m}^2
\end{aligned}
\tag{4}$$

##### (3) 역해석에 의한 $\phi$ 값 산정

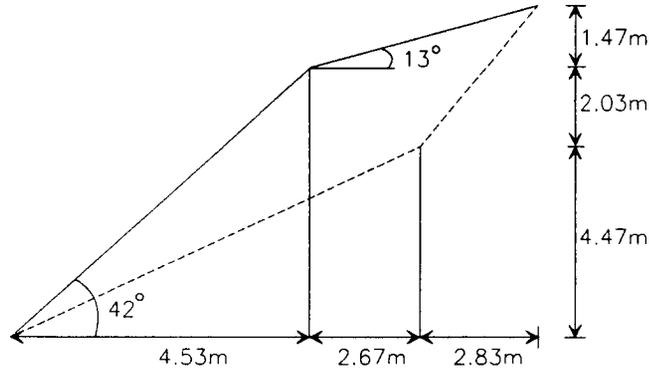


그림 7. 지반 강도정수 추정을 위한 사면 단면도

(i) 1차  $\phi$ 값 산정

안전율을 1.0, 점착력을  $0.26t/m^2$ 으로 두고 수정 Bishop 방법(Modified Bishop method)을 이용한 역산을 통하여  $\phi$ 값을 계산한다.

(ii) 활동 토괴의 평균수직두께 산정

추정된  $c$ 값과 단계 (i)에서 산정된  $\phi$ 값을 지반 강도정수로 보고, PC-SLOPE를 이용하여 전체 단면에서의 예상 활동면과 그 활동면의 안전율을 구하고, 활동면으로부터 활동토괴의 평균 수직두께를 산정한다.

(iii) 강도정수의 재추정

단계 (ii)에서 측정된 활동토체의 평균수직두께를 이용하여  $c$ 값을 다시 계산하고, 이에 따른  $\phi$ 값을 다시 산정한다.

(4) 역해석 결과

제3차 붕괴 사면에 대한 역해석 결과로서 강도정수  $c = 0.25t/m^2$ ,  $\phi = 28^\circ$  를 얻었다.

(5) 전체 사면 안정해석을 위한 강도정수의 추정

전체 사면의 안정성을 검토할 때에는 역해석으로 구한 강도정수( $c = 0.25t/m^2$ ,  $\phi = 28^\circ$ )를 1차로 입력하여 대상 사면의 최소안전율을 갖는 예상활동면을 그래프로 출력한 다음, 그 예상활동면의 위치에 따라 식 (5)를 이용하여  $\phi$ 값을 조정하였다[Fang,1991].

$$\phi = \phi_1 - 5.5^\circ \log(\sigma_0 / \sigma_1) \quad (5)$$

식 (5)는 모래에 대한 배수 삼축시험으로부터 얻어진 결과로서, 내부마찰각,  $\phi$ 는 평균 연직응력(mean normal stress)인  $\sigma_0$ ,  $\sigma_1$ 에 따라서 변화하는 것을 나타낸다.

여기서 구한  $c$ ,  $\phi$  값을 가지고 대상 사면에 대한 사면 안정해석을 실시하여 최종적으로 사면의 최소 안전율을 구하였다.

3. 대책 방안

사면 파괴를 방지하기 위한 대책공법은 강우, 용설 등과 같은 물의 영향에 의하여 사면의 안전율이 감소하는 것을 방지하는 방법과 불안전하다고 판단된 사면의 안전율을 말뚝 등의 저항력을 이용하여 증가시켜 주는 방법 등 크게 두가지로 나눌 수 있다.

### 3.1 검토 사면에 대한 보강공법 검토

검토 사면에서 발생한 활동과괴의 원인은 주로 집중호우로 인한 지하수위의 상승 및 지반포화로 지반강도가 약화되고, 또한 침투수압이 증가되어 발생한 것으로 판단되며, 설계구배보다 높은 사면구배도 하나의 원인이라고 생각된다. 이 점에 유의하여 각 사면안정 대책공법을 비교 검토하면 다음과 같다.

현 사면의 활동과괴 원인이 주로 물의 사면침투 및 지하수위 상승에 의한 것이므로 반드시 배수공법은 사용되어야 한다. 그리고, 지하수 및 지표수 배제공법 등의 배수 공법으로 충분한 안전율을 확보할 수 없을 때에는 배수 공법과 병행하여 다른 사면안정 대책공법이 강구되어야 한다.

기울기 저감 공법 및 압성토공법은 각각 사면 상부 활동토괴에 대한 하중 경감과 압성토에 의한 활동사면 선단부의 저항력을 증가시키는 것으로 여러 가지 종류의 사면안정공법 중 가장 효과적인 방법이지만, 이 중 압성토 공법은 현재 사면 시작부에 옹벽이 설치되어 있고, 건축 구조물과 옹벽 사이의 거리가 짧아 효과면에서나 시공성면에서 사용할 수가 없다.

그리고 말뚝 공법, 어스앵커 공법, 흙 못치기 공법 등의 보강재 삽입 공법은 사면보강공법으로 가장 일반적으로 사용되고 있는 공법이나, 기울기 저감 공법에 비해 시공이 어렵고, 비용이 많이 들며, 시공기간이 길다는 단점을 가지고 있다.

그밖에 표면처리 공법은 안전율을 감소 방지대책으로 현 사면과 같이 침투수가 문제가 되는 사면에서는 큰 효과가 없으며, 그라우팅 공법은 비용이 많이 들어 현사면과 같이 비교적 넓은 지역을 보강하는 공법으로는 적합하지 않다.

### 3.2 현 사면에 대한 보강대책

제2차 붕괴사면의 직접적인 붕괴원인은 강우에 따른 지하수위 상승으로 발생한 침투압에 의하여 옹벽이 파괴되었기 때문이며, 제3차 붕괴사면은 급한 경사면과 지반포화에 의한 연화현상 때문으로 볼 수 있다. 그러므로 옹벽이 구조적으로 안전하고, 급한 경사면이 없다면 안정을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나, 2.3절에서 옹벽의 안정성을 검토해 본 결과에 의하면, 집중호우에 의해 지하수위가 옹벽상단으로부터 약 1m이상 상승하여 침투압이 작용하는 경우에는 현 상태의 옹벽은 안정성을 유지하기 힘들 것으로 판단된다. 따라서, 옹벽의 보강없이 안정성을 유지하기 위해서는 수평배수관을 설치하여 지하수위를 낮추어야 한다. 지하수위를 낮추면 사면의 안전을 또한 커지게 되는 효과가 있다.

위의 사항들을 종합해 볼 때, 검토 사면의 안정성 보강을 위해서는 다음과 같이 배수공법과 사면구배 완화의 시행이 필요하다고 판단된다.

#### 3.2.1 배수 공법

지하수위를 낮추기 위해 그림 8과 같이 옹벽 바로 위에 수평 배수다발관을 설치하여 집중호우가 내리는 경우에도 지하수위를 낮게 유지시킬 수 있도록 한다. 또한, 표면수의 침투량을 줄이기 위해서 이미 측구가 있는 1차 및 2차 소단 이외에 옹벽 바로 위와 3단 사면 위에도 그림 8과 같이 표면배수처리 시설물(U자형의 측구 및 맹암거)을 설치하여야 한다. 그리고, 2차 소단부터 3단 사면 위까지 기존의 연직배수로(옹벽 상단부터 2차 소단까지 서공된)와 연결되도록 연직배수로를 시공한다.

#### 3.2.2 옹벽 강성의 증대

침투압을 고려하는 경우 옹벽의 모멘트에 대한 안전율은 집중호우로 인한 지하수위 상승이 발생하는 경우에는 급격히 떨어지고, 이에 따라 현재와 같은 정도의 강성을 갖는 옹벽은 제2차 붕괴시의 마찬가지의 붕괴가 발생할 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 옹벽의 강성을 좀 더 증대시킬 필요가 있으나, 확실한 수평배수를 통한 지하수위 조절과 옹벽후면에서의 원활한 배수가 보장된다면, 이로써 현 옹벽의 구조적 보강을 대신할 수 있다고 생각된다. 배수공법을 시행한 후 옹벽의 안정성을 검토한 결과, 식 (6)과 같이 옹벽은 안정을 유지하는 것으로 나타났다.

$$\begin{aligned}
 F_{seepage} &= \gamma_w \cdot i \cdot V = (1) (\sin 10^\circ) (12.23) \\
 &= 2.12 \text{ t} \\
 M_u &= (5.26) (3.5 / 3) + (2.12) (\cos 10^\circ) (3.5 / 2) \\
 &= 9.79 \text{ t} \cdot \text{m} < 18.16 \text{ t} \cdot \text{m}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

### 3.2.3 사면구배 완화

2차 사면붕괴 후 작성된 실측조사 자료에 의하면, 현재의 3차 사면붕괴 지역의 사면구배는 단지 조성 당시의 설계구배인 1:1.8(약 29°)보다 약 4 ~ 5° 높으며, 2차 사면붕괴 지역 중 이미 복구된 제 1, 2단 사면의 기울기는 대체로 당초의 설계단면(1:1.8)과 크게 차이가 나지 않는 것으로 확인되었다. 현재, 3차 사면 붕괴 지역 및 2차 사면 붕괴 지역의 3단 사면 부분은 복구되지 않은 상태이며, 2차 소단에서 활동 파괴면의 시작부를 연결하면 2차 붕괴 사면과 3차 붕괴사면 모두 대략 1:2 정도의 경사를 얻는다.

따라서, 사면 기울기 완화 방법으로는 표 4에 나타난 바와 같이 세가지 경우를 생각할 수 있다.

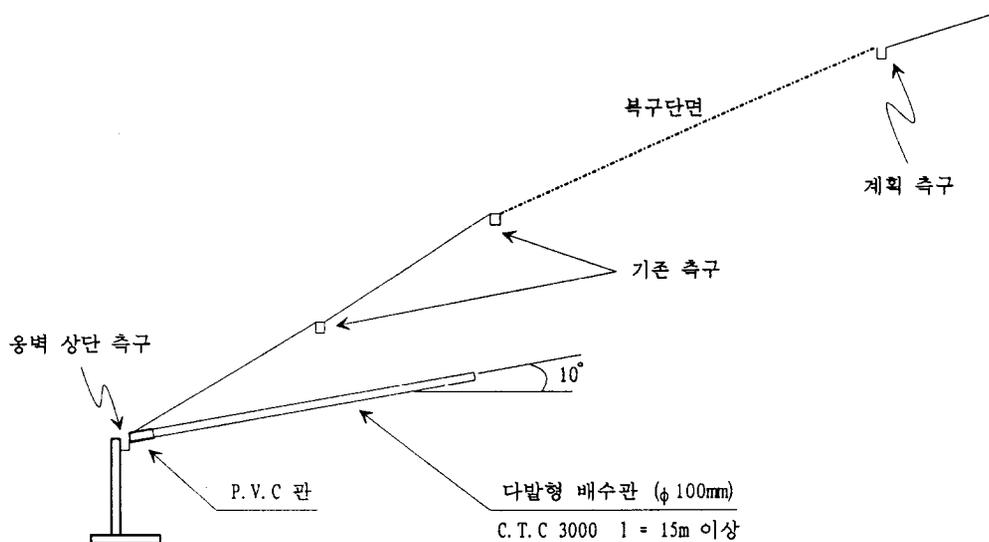


그림 8. 수평배수시설 및 표면배수시설 단면도

표 4. 사면 기울기 완화 방법

사면 기울기 완화 방법	
CASE 1	2-2' 단면(2차 붕괴 지역)을 기준으로 1단 및 2단 사면은 현 구배(1:1.8)를 유지하고, 3단 사면을 1:2의 구배로 복구하는 경우 (그림 4 참조)
CASE 2	4-4' 단면(3차 붕괴 지역)을 기준으로 1단 및 2단 사면은 현 구배( 1단 : 34° , 2단 : 33° )를 유지하고, 3단 사면을 1:2의 구배로 복구하는 경우 (그림 5의 복구가능 검토단면 참조)
CASE 3	4-4' 단면(3차 붕괴 지역)을 기준으로 1단 및 2단 그리고 3단 사면을 모두 당초의 실제구배( 1단, 2단 : 29° )로 완화하며 자연사면과 만나도록 하는 경우 (그림 5의 복구가능 검토단면 참조)

3.2.4 사면의 최소 활동 안전률 산정

앞에서 가정된 세가지(CASE 1, 2, 3)경우에 대하여 지하수위를 옹벽 상단 높이 이하로 가정하고(수평배수시설을 확보하는 경우), 추정된 지반의 강도 정수로 최소 안전률을 산정한 결과 각각 1.28, 1.14, 1.10의 값을 얻었다(표 5 참조). 따라서, 제2차 및 3차 붕괴지역 모두 CASE 1과 같이 복구할 것을 제안한다.

3.2.5 지하수위 영향 검토

앞에서 제안한 복구단면(CASE 1)의 경우에도 지하수위가 상승하면 표 5에 나타난 바와 같이 안전률이 크게 하락하므로, 필히 지하수위를 조절할 필요가 있다. 이를 위해서도 앞서 옹벽의 구조적 안정을 위하여 제안한 수평배수관(그림 8 참조)의 설치가 필요하다.

한편, 제2차 붕괴 지역은 1단 및 2단 사면이 이미 1:1.8 기울기로 복구되어 있어서 제3단 사면을 1:2로 복구하게 되면 전체 사면의 안전률은 1.28로서(CASE 1), 사면의 장기적인 안정성에 요구되는 안전률인 1.3에 거의 근접하는 값이다. 그러나, 제3차 붕괴지역의 경우에는 3단 사면만을 1:2로 복구하면 기존에 시공된 1단, 2단 사면의 기울기가 1:1.5 정도로서 다소 가파르기 때문에 지하수 배제 및 지표수 처리시설을 시공한 후에도 안전률이 1.14정도로 나타난 장기적인 사면의 최소 안전률인 1.3에 크게 미치지 못한다.

표 5. 해석 조건에 따른 안전률의 변화

해석조건		안전률
사면 기울기	지하수위	
CASE 1	옹벽 상단	1.28
	옹벽상단 위 5.0m	1.11
	옹벽상단 위 7.0m	0.79
CASE 2	옹벽 상단	1.14
CASE 3	옹벽 상단	1.10

## 5. 결론

본 연구의 검토대상인 사면의 안정성을 검토해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 확실한 안전율을 얻기 위한 사면 안정 대책공법으로는 사면의 기울기를 전체적으로 충분히 낮추는 것과 배수공법을 병행하는 것이 가장 바람직하다고 판단된다.
- (2) 본 연구 대상 사면인 경우, 침투압이용벽 높이의 정수압 이상으로 발생하면 본래 설계대로의 강성을 갖는 옹벽은 구조적으로 불안전하게 된다. 따라서, 이런 경우 옹벽의 강성을 더 증대시키거나, 현장 여건이 여의치 않은 경우에는 수평 배수 다발관 및 표면배수 처리 시설물(맹암거 및 U형 측구)의 설치로 침투압을 줄일 필요가 있다.
- (3) 본 연구 대상 사면에서, 제2차 붕괴지역의 경우에는 제3단 사면만을 1:2로 복구하면, 약 1.3정도의 안전율을 보이나, 제3차 붕괴지역의 경우에는 지하수 배제 및 지표수 처리시설을 시공한 후에도 안전률이 1.14 정도로 나타나 장기적인 사면의 최소 활동 안전률인 1.3에 크게 미치지 못한다. 따라서 장기적인 사면의 안정성을 위해서는 뿌리말뚝이나 어스앵커 등의 구조물에 의한 사면 보강이 필요하다고 판단된다.

## 6. 참고문헌

- [1] Fang, H. Y.(1991), "Foundation Engineering Handbook", Van Nostrand Reinhold.
- [2] 건설부(1992), "도로교 표준 시방서"
- [3] 임승태 역(1994), "최신의 사면안정공법", 기술경영사