

# 절개사면의 안정성 증가를 위한 배수시스템 개발에 관한 기초적 연구

## A Study on Drain System Development for Stability Increase of Cutting Slope

이승호\*

Lee, Seung-Ho

### Abstract

Mountain side ditch is constructed at the top of cutting slopes around road and it drains the surface water that flowed from upper part. About 70% of a country is composed of mountains so occurrence of cutting face by road general observation is necessary. Instability of cutting face is increased by permeation of underground water by rainfall the summer, pore water pressure increases. However, mountain side ditch is constructed on the top of cutting slopes has some troubles. For example, difficulty of qualify control and lack of drainage faculty.

Therefore, stability variation of cutting slope is analyzed by hydraulic conductivity and construction depth of mountain side ditch and effective depth of mountain side ditch is decided in this paper.

**Keywords** : Cutting slope, Ridge line ditch, Pore water pressure, Underground water table

### 요 지

도로 주변 절토사면 상부에 시공되는 산마루 측구는 상부로부터 흘러내리는 지표수를 원활히 배수시켜 절개면으로 유입되는 것을 방지한다. 국내의 경우 전 국토의 70%이상이 산악지로 구성되어 있어 도로 개설에 따른 절개면의 발생은 필연적이다. 여름 집중호우와 간극수압의 증가로 인하여 절개면의 불안정성은 증가된다. 그러나 절토사면 상부에 시공되어 있는 산마루측구는 품질관리의 어려움과 배수능력 부족 등의 문제점들이 있다.

따라서, 본 논문에서는 산마루 측구의 깊이와 투수계수에 따른 절토사면의 안전을 변화를 분석하였으며 적절한 측구 설치깊이를 결정하였다.

**주요어** : 절개사면, 산마루 측구, 간극수압, 지하수위

# 1. 서론

## 1.1 연구목적

국내의 경우 전 국토의 70%이상이 산악지로 구성되어 있어 도로 개설에 따른 절개면의 발생은 필연적이며, 국내 기상특성상 여름철 집중강우기와 지하수의 침투에 의한 수압의 증가로 절개면의 불안정성이 가중되어 절개면이 붕괴되는 사례가 빈번하게 발생하고 있다. 해마다 증가되는 절개면 붕괴에 의한 인명·재산피해를 줄이고, 도로의 운용 효율을 극대화하기 위해서는 올바른 사면의 근본적인 원인을 고려하여 사면의 안정성 확보가 시급한 실정이다. 또한, 강우로 인한 사면파괴는 크게 지하수위 상승으로 인하여 사면지반내의 간극수압이 증가하여 파괴가 일어나는 것과 지표수의 사면내 유입으로 표면포화가 발생되고 토체 하중이 증가되어 표층이 흘러내려 파괴가 발생하는 것이 있다. 기존의 사면보호정책은 붕괴 후 보수 및 복구 차원을 벗어나 근본적 원인을 찾아 제거함으로써 사면의 안전성을 확보하고, 사면의 배수공법 중 하나인 산마루 측구를 여러 가지 지반조건을 고려하여 설치깊이에 따른 사면의 안전율에 미치는 영향을 검토하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 1.2 연구내용 및 방법

사면 내 수압은 크게 2가지 형태로 형성되게 된다. 사면내 지반에 자유수면 형태로 존재하는 지하수위면내의 수압과 지표면으로부터 침투되는 물에 의해 형성되는 수압으로 크게 구별할 수 있다.

통상적으로 지반공학에서의 지반내 물의 흐름을 다루게 될 때에는 댐이나 제방내의 수두차에 의한 침투와 천공이나 굴착면에서의 수위차에 의한 흐름에 대해 주로 관심을 가지고 있는 것이 현실이다. 이 경우 흐름의 해석의 주요 인자를 지반내의 투수계수로서 어느 경우에도 일정한 상수로서 취급되며 측정시에는 완전포화상태에서의 값으로 측정하게 된다.

그러나, 강우에 의한 사면내 침투는 완전 포화상태에서의 흐름이 아니고 지하수위면이 지표면과 일치하거나 지반내 자유수면을 지표면보다 낮게 조정하여 고려하는 것과 실제 강우에 의한 침투와는 큰 차이점이 있어 이를 적절히 반영할 수 있는 적절한 배수공법 및 지하수 저감 대책이 시급한 실정이다. 본 논문에서는 배수공법 중 하나인 산마루 측구를 여러 가지 지반조건을 고려하여 설치깊이에 따라 사면의 안전율에 어떠한 영향을 미치는지 유한요소해석을 이용한 침

투류 해석과 이를 이용한 한계평형해석을 이용하여 사면에 지하수의 변화 및 절토사면의 안전율에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

## 2. 수치해석

### 2.1 연구 대상지역 현황

산마루 측구가 사면안정성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 실제 강원도 ○○지역의 도로공사현장의 토사사면을 연구대상단면으로 선정하여 산마루 측구 설치시 사면의 안전율에 미치는 영향을 고려하고자 하였다. 하지만, 현 토사사면에는 산마루 측구가 설치 되어있지 않은 상태이다.

대표횡단면을 포함하고 있는 토사사면은 높이(H)가 약 20m, 길이는 180m에 이르며, 도로폭(B)은 8m이다. 또한, 입도가 고르지 못한 흙으로 구성되어 있다. 또한, 사면 상단부에는 식생이 널리 분포되어 있다. 그림 1, 2는 연구 대상사면 전경 및 횡단면도이다. 또한, 대상사면의 시료를 채취하여 실내시험을 실시한 결과 통일분류법에 의해 SP (입도가 나쁜 것)로 분류되었다.



그림 1. 연구 대상사면 전경

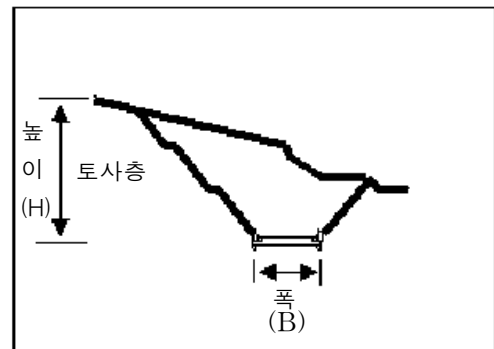


그림 2. 연구 대상사면 횡단면도

## 2.2 해석방법

### 2.2.1 해석 접근 방법

검토 해석대상 횡단면에 대한 안정성 검토는 초기에 가정된 강우강도에 의해 침투해석을 실시하였으며, 해석결과를 이용하여 사면안정해석을 수행하였다. 해석에 이용된 프로그램은 각각 SEEP/W와 SLOPE/W를 이용하였다. SEEP/W는 사면의 강우가 침투할 경우 사면내 침투류에 대하여 분석하였고, SLOPE/W는 SEEP/W를 이용한 침투류 해석결과를 이용하여 사면의 안전율을 계산하였다. 또한, 산마루 측구의 폭을 2.0m로 고정하고 산마루 측구의 설치 깊이에 따른 사면의 안정성에 변화를 분석 검토하였고, 사면의 안전율을 원지반일 때 1.0으로 가정하여 해석을 수행하였다.

### 2.2.2 해석 프로그램 개요 및 해석방법

#### (1) 프로그램 개요

SEEP/W는 지하수의 흐름이나 간극수압의 소산을 계산하는 유한요소해석 프로그램으로서, SEEP/W는 단순한 포화-정상류부터 복잡한 포화/불포화-시간변화흐름까지 계산할 수 있다. 또한, 포화류(saturated flow)와 불포화류(unsaturated or partially saturated flow)를 계산할 수 있으며, 불포화류 계산기능으로 자유수면의 계산이 정확하며 강우에 의한 지하수 유입과정과 같은 계산이 가능하다.

GEO-SLOPE사에서 제작된 SLOPE/W는 한계평형해석 이론을 근거로 한 Window용 사면안정해석 프로그램이며, 토사사면을 대상으로 원호활동, 복합사면활동, 블록활동, 특정활동면 등에 대한 해석이 가능하다. 또한, SEEP/W 침투류해석 프로그램의 침투류해석 결과를 적용할 수 있다.

#### (2) 해석방법

해석단면은 연구대상사면 현황자료를 이용하여 하나의 토층으로 모델링 하였으며, 투수계수는  $1.0 \times 10^{-1}$  cm/sec,  $1.0 \times 10^{-2}$  cm/sec,  $1.0 \times 10^{-3}$  cm/sec,  $1.0 \times 10^{-4}$  cm/sec으로 가정하였고, 강우강도는 20mm/hr로 가정하여 해석을 수행하였다. 산마루 측구의 깊이는 0.6m, 0.9m, 1.2m, 1.5m, 1.8m로 구분하였고, 측구의 폭은 2.0m로 고정하여 해석을 실시하였다. 그리고, 원지반일 때와 산마루 측구

설치시 깊이에 따른 침투류 해석 및 침윤선의 변화를 검토하였다. 다음 그림 3, 4는 해석에 적용한 모델링이다.

SEEP/W 침투류해석한 결과 값인 간극수압을 적용하여 각각 사면의 안전율을 SLOPE/W로 이용하여 계산하였고, Bishop의 간편법을 적용하였다. SLOPE/W에 적용한 지반물성치는  $\gamma_t = 1.9$  tonf/m<sup>3</sup>, 점착력  $c = 6.5$  tonf/m<sup>2</sup>, 내부마찰각  $\phi = 30^\circ$ 로 가정하여 적용하였다. 그림 3, 4는 연구대상사면 해석모델링 예이다.

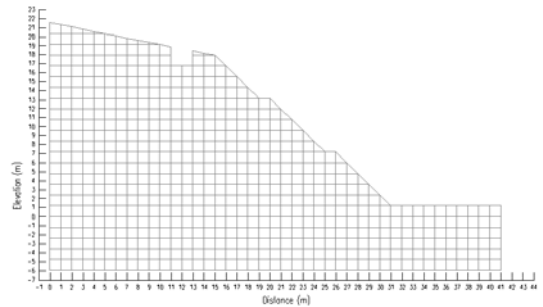


그림 3. 침투류해석 mesh 형상(산마루 측구 설치시)



그림 4. 한계평형해석 mesh 형상 (산마루 측구 설치시)

## 3. 침투류 해석결과를 이용한 측구 깊이별 안전율 계산

투수계수(k)가  $1 \times 10^{-1}$  cm/sec일 때 산마루 측구에 깊이에 따른 안전율이 1.5m까지 증가하다가 1.8m의 산마루 측구 설치시 안전율이 감소하는 결과로 검토되었다.

투수계수(k)가  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec일 때 산마루 측구 깊이에 따른 안전율은 1.5m까지 증가하는 형태를 보였으며, 1.8m의 산마루 측구 설치시 안전율이 감소하는 결과로 검토되었으며 투수계수(k)가  $1 \times 10^{-3}$  cm/sec일 때 산마루 측구 깊이에 따른 안전율은 투수계수(k)가  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec일 때와 비슷하게 안전율 증가가 완만한 형태를 보여 주고 있다. 그리고 산마루 측구의 깊이가 1.5m까지는 안전율이 증가하다가 1.8m의 산마루 측구 설치시 안전율이 감소하는 것으로

분석되었다.

투수계수(k)가  $1 \times 10^{-4}$  cm/sec일 때 산마루 측구에 깊이  
에 따른 안전율은 투수계수(k)가  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec,  $1 \times 10^{-3}$   
cm/sec일 때와 비슷하게 증가량은 완만한 형태를 보여 주고  
있다. 그리고, 산마루 측구의 깊이가 1.5m까지는 안전율의  
증가량이 증가하다가 1.8m의 산마루 측구 설치시에는 안전율  
이 변화하지 않는 것으로 검토되었다(표 2 참조).

표 1. 침투류해석에 의하여 계산된 침투유량

투수계수(k) 측구깊이(h)	$1.0 \times 10^{-1}$ (cm/sec)	$1.0 \times 10^{-2}$ (cm/sec)	$1.0 \times 10^{-3}$ (cm/sec)	$1.0 \times 10^{-4}$ (cm/sec)
원지반	8.39e-002	3.00e-003	6.06e-004	5.75e-005
0.6m	9.41e-002	5.75e-003	8.39e-004	6.06e-005
0.9m	1.00e-001	6.06e-003	1.29e-003	9.29e-005
1.2m	1.07e-001	8.39e-003	1.30e-003	1.20e-004
1.5m	1.20e-001	1.20e-002	1.45e-003	1.30e-004
1.8m	1.45e-001	1.45e-002	1.54e-003	1.45e-004

표 2. 투수계수 및 산마루 측구 깊이에 따른 사면  
안전율 계산결과

투수계수(k) 측구깊이(h)	$1.0 \times 10^{-1}$ (cm/sec)	$1.0 \times 10^{-2}$ (cm/sec)	$1.0 \times 10^{-3}$ (cm/sec)	$1.0 \times 10^{-4}$ (cm/sec)
원지반	1.16	1.06	0.93	0.75
0.6m	1.17	1.06	0.93	0.75
0.9m	1.24	1.11	0.93	0.78
1.2m	1.26	1.12	0.95	0.81
1.5m	1.29	1.14	1.01	0.82
1.8m	1.24	1.13	0.98	0.82

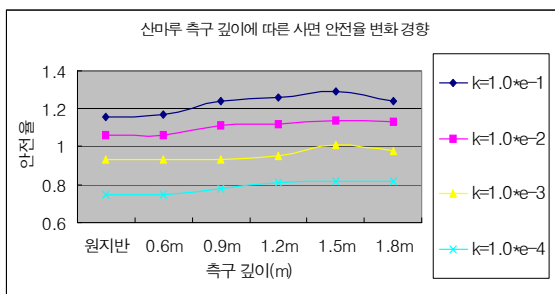


그림 5. 투수계수 및 산마루 측구 깊이에 따른 사면  
안전율 변화경향

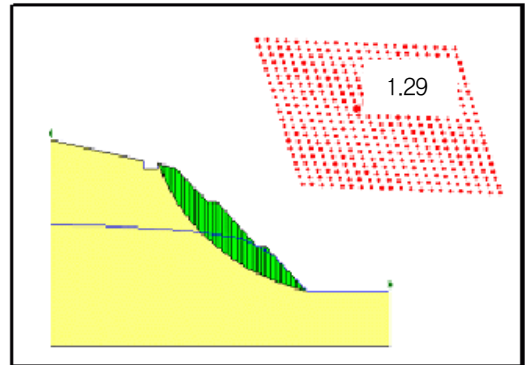


그림 6. 투수계수  $1.0 \times 10^{-1}$  (cm/sec)일 때  
한계평형해석 결과(h = 1.5m)

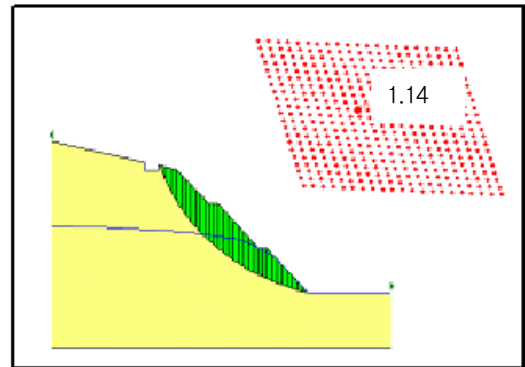


그림 7. 투수계수  $1.0 \times 10^{-2}$  (cm/sec)일 때  
한계평형해석 결과(h = 1.5m)

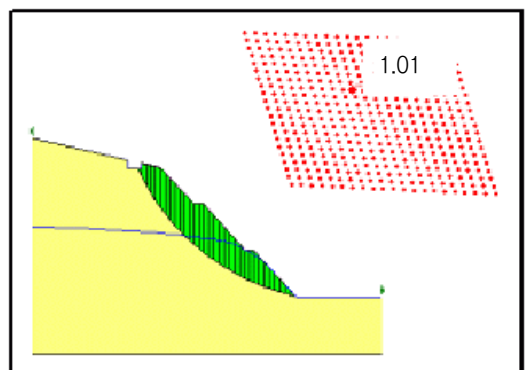


그림 8. 투수계수  $1.0 \times 10^{-3}$  (cm/sec)일 때  
한계평형해석 결과(h = 1.5m)

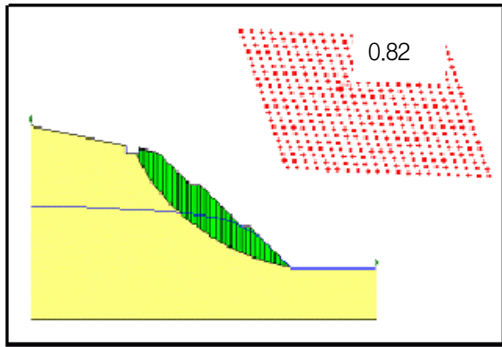


그림 9. 투수계수  $1.0 \times 10^{-4}$ (cm/sec)일때 한계평형해석 결과(h = 1.5m)

#### 4. 결과분석

산마루 측구의 폭을 2.0m로 고정(한국도로공사 도로설계 실무편람, 토공 및 배수)한 상태에서 측구깊이에 변화를 주어 침투류 해석 및 침투류 해석결과를 이용한 사면 안전율 계산을 실시하였으며, 수치해석을 결과를 이용하여 사면 안전성 증가에 효과적이고 여러 현장에 적용이 가능할 것으로 판단되는 산마루 측구 깊이를 그림 10와 같은 방법으로 일반식을 산정하였다(그림 10 참조). 또한, 산마루 측구 유효 깊이 산정 일반식은 다음과 같다.

$$\text{산마루 측구깊이}(h) = \text{사면높이}(H) \times 100(\%) \quad (1)$$

산마루 측구 깊이와 사면높이를 고려한 계산식에 의하면 산마루 측구 깊이(h)/사면높이(H)의 비율이 6.94%와 8.33%사이에서는 사면 안전율이 증가하는 결과를 보여준다. 그리고 산마루 측구를 6.94%의 깊이비로 설치한 경우에 가장 높은 사면 안전율이 계산되었다. 이는 투수계수 및 산마루 측구 깊이에 따른 사면 안전율의 경향을 검토한 결과 6.94%깊이비가 산마루 측구의 원활한 배수능력을 보이는 가장 효과적인 깊이비라 사료된다.

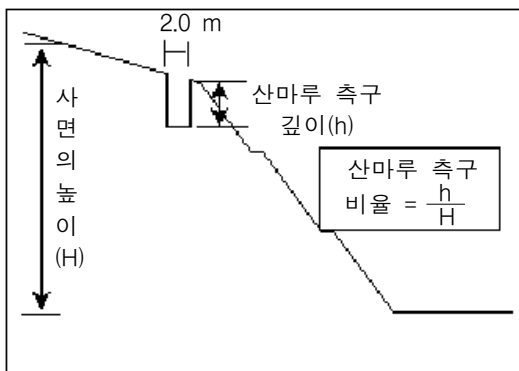


그림 10. 산마루 측구의 깊이(h)/사면높이(H)

#### 5. 결론

본 논문에서는 연구 대상사면을 선정하고 침투류 해석 결과를 이용한 한계평형해석을 실시하여 산마루 측구의 시공 깊이에 따른 사면의 안전율 변화에 대하여 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 산마루 측구의 폭을 2.0m로 고정한 상태에서 측구깊이에 변화를 주어 침투류 해석 및 침투류 해석결과를 이용한 사면 안전율 계산을 실시하였으며, 그 결과 여러현장에 보편적으로 적용 가능한 일반식을 도출할 수 있었으며, 일반식에 의한 산마루 측구 깊이비율이 6.94%일때 사면안전율의 증가량이 가장 높은 것으로 계산되었다.
- (2) 산마루 측구를 사면높이에 6.94%의 깊이비로 설치한 경우에 측구 미설치시의 사면 안전율과 비교하면 최소 0.07, 최대0.13만큼 안전율이 증가하는 결과 값을 얻었다.
- (3) 산마루 측구 깊이비가 6.94%이상에서는 사면안전율이 감소하는 것으로 계산되었다.
- (4) 투수계수 및 산마루 측구 깊이에 따른 사면 안전율의 경향을 검토한 결과 6.94%정도의 산마루 측구 깊이비가 사면안정성 확보에 가장 큰 효과적인 것으로 사료된다.

#### 6. 감사의 글

본 연구는 2002년 상지대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 상지대학교 관계자 여러분께 감사드립니다.

(접수일자 : 2005년 1월 17일)

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부(2000), 국내사면 파괴 특성을 거러한 토사사면의 안정해석 및 보강기법 시스템, '97 건설교통기술연구사업 최종보고서, 한국과학기술원, pp. 239.
2. 김상규, 김영목(1991), 강우로 인한 사면 불안정, 대한토질공학회지, 대한토질공학회, 제7권, 제1호, pp. 53~64.
3. 김주용(1998), 유한요소법을 이용한 사면안정해석, 박사학위논문, 한국과학기술원.
4. 김주용, 이승래(1995), 사면안정 해석시 민감도를 이용한 임계단면 결정, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 281~284.
5. 변위용(2001), 불포화 지반특성 및 최적화 기법을 적용한 사면안정 해석 프로그램, 석사학위논문, 한국과학기술원.
6. 이승호, 황영철, 정응환, 지영환, 노홍제(2003), 강원산간지방 도로확장 대절토부 사면안정 처리에 관한 연구, 봄학술발표회, 한국지반공학회.
7. 이승호, 황영철, 지영환, 정용진, 이은동(2003), 산마루 측구가 사면안정성에 미치는 영향에 대한 해석적 검토, 정기학술대회, 대한토목학회, pp. 235.
8. 이승호(2002), 강원도 산악도로 절개사면의 파괴특성 분류에 관한 연구, 사면안정 학술발표회, 한국지반공학회.
9. 이승호, 최구락, 이재기, 김기환(2001), 강원도 동부 산악지형 사면붕괴 형태 분석, 2001년 학술발표회 논문집, 대한토목학회.
10. 이승호, 정형식, 김태남, 신희순(2001), 고속도로 대절토사면 안정성 평가에 관한 연구, 사면안정 학술발표회(사면안정 조사 및 대책), 한국지반공학회.
11. 한국도로공사(1995), 도로설계실무편람, 토공 및 배수.
12. 홍원표, 김운원, 김상규, 한중근, 김마리아(1990), 강우로 기인되는 우리나라의 사면거동의 예측, 대한토질공학회지, 대한토질공학회, 제6권, 제2호, pp. 55-63.
13. Alonso, E. Gens. A. and Liornet, A(1995), Effect of rain infiltration on the stability of slopes, Proceeding of the 1st Conf. on Unsaturated Soils, Paris, pp. 241~249.
14. Baker, R.(1980), Determination of the critical slip surface in slope stability computation, Int. J for Numerical and Analytical Methods on Geomechanics, 4, pp. 333~359.
15. Bishop, A. W., Alpan, I., Blight, G. E. and Donald, I. B.(1960), Factors controlling the shear strength of partly saturated cohesive soils, ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, University of Colorado, Boulder, Colorado, pp. 503~532.
16. Brand, E. W.(1984), Landslides in south Asia a state of the art report, Proc. 4th Int. Sym. on Landslides, Toronto, 1, pp. 17~59.
17. Celestino, T. B. and Duncan, J. M.(1981), Simplified search for noncircular slip surfaces, Proc. of the 10th Int Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 3, pp. 391~394.