

도로 절토사면 산마루측구 배수성능에 따른 사면안정성 평가

Evaluation for Installation and Drain Performance of Mountain Side Ditch in Road Cut Slopes

황영철*

Hwang, Young-Cheol

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. Mountain side ditch is constructed to keep away the influx of the surface water into cutting faces. However, if Mountain side ditch is constructed on the top of cutting slopes, it is cause of trouble. For example, difficulty of quality control and lack of drainage faculty. Therefore, the faculty and establishment propriety of mountain side ditch are evaluated seriously, according to the condition of ground, topography and rainfall in this paper. Results from the study for the numerical analysis of effect of mountain side ditch indicate that safety factor is enlarged about 3% at rainfall.

Keywords : Drain performance, Mountain side ditch, Slope stability, Rainfall

요 지

도로주변 절토사면 상부에 설치되는 산마루측구는 강우시 상부로부터 흘러내려오는 지표수를 원활히 배수시켜, 절토면으로 유입되는 것을 방지하기 위해 설치한다. 그러나, 산마루측구 설치시 시공여건상 품질관리가 어려워, 절토면 배면으로부터의 지표수를 원활히 배수시키지 못하는 문제점을 안고 있다. 따라서, 본 논문에서는 비탈면 상부에 설치된 산마루측구의 기능을 지반 및 지형조건, 강우조건에 따라 비탈면 안정성에 미치는 영향을 평가함으로써, 현재 설계 시공되고 있는 산마루측구의 설치 적정성을 평가하였다. 평가결과 산마루측구는 평균적으로 강우시 약 3%의 안전율 증대효과가 있는 것으로 검토되었다.

주요어 : 배수성능, 산마루측구, 사면안정, 강우

* 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 전임강사(ychwang@ sangji.ac.kr)

1. 서론

사면의 불안정성 요인 중 사면내 우수 침투는 지반의 지하수위 상승과 이에 따른 간극수압의 증가를 야기시켜 내·외적으로 사면의 안정성에 악영향을 미친다. 현행 건설교통부 기준에 따르면, 절토비탈면이 일정규모 이상이고, 강우에 의한 비탈면 배면으로부터의 우수침투가 우려될 때 비탈면 안정성 확보를 위해 적절한 배수시설을 두도록 하고 있다. 그러나, 산마루측구 배수시설의 경우, 강우강도, 집수면적, 우수침투 정도에 따라 지표수량이 변하게 되며 따라서 이를 적절히 배수시키기 위한 설계가 이루어져야 하나, 규모 및 위치가 획일화 되어 있어 효율적인 배수관리가 어렵다고 판단된다.

따라서 지형조건 및 강우조건 등을 고려한 합리적인 산마루측구의 설치를 위해서는 산마루측구의 배수능력 및 산마루측구가 사면안정성에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 고려하여야 한다.

본 연구에서는 국내의 지형조건 및 강우조건 등을 고려한 수치 해석적 접근을 통하여 산마루측구가 사면안정성에 미치는 영향과 산마루측구의 설치 적정성에 대하여 평가하고자 한다.

2. 산마루측구 개요

절개면은 강우에 의해 상부로부터 포화도가 증가하게 되며, 지하수면까지 침투수가 도달하게 됨에 따라 지하수위의 상승이 발생하게 되며, 이러한 과정에서 절개면은 점차 안정성이 감소하여 파괴에 도달하게 된다. 그림 1은 강우에 의해 지반의 포화도와 간극수압이 변화하는 전형적인 형태를 보여준다(GEO, 1997). 강우시 절개면의 지하수위 상승을 억제하기 위해 지표로부터의 침투수를 감소시키는 것도 안정성 확보의 한 방법이며, 산마루측구는 이러한 지표수가 지중으로 침투되는 것을 감소시키기 위해 설치되는 배수구조물이다.

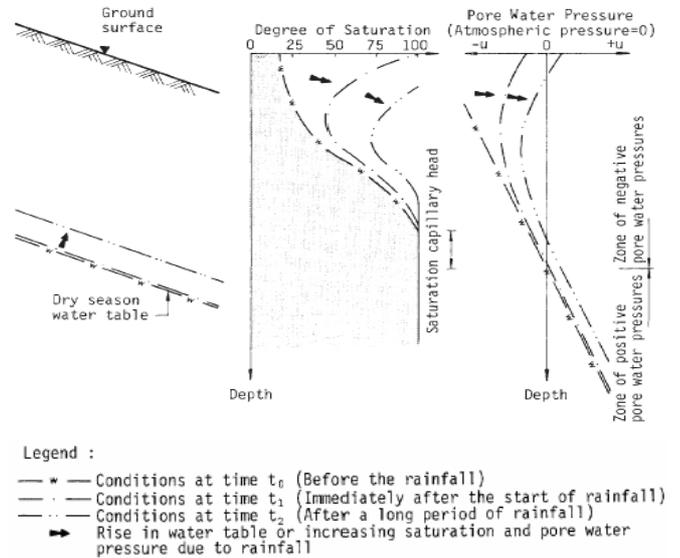


그림 1. 강우에 따른 지반내 간극수압 및 포화도 변화

산마루측구는 강우시 지표면을 통해 흐르는 우수가 측구로 유입되어 측구 하부 지반으로 침투함으로써 발생하는 사면의 침식이나 사면 전체 또는 국부적인 붕괴를 방지하기 위하여 사용된다. 즉, 사면의 안정을 불안정하게 할 가능성이 큰 지표수나 지하수를 집수하여 사면 바깥의 안전한 곳으로 배출시키거나, 지표수나 지하수가 사면구역의 유입을 방지하는 것으로 사면의 안정성을 높이기 위한 것이며, 도로 및 택지 조성등의 토목 건설 공사에 있어 강우시 절토면 붕괴를 방지하고, 우수를 산마루 상단에서부터 하단까지 배수 시키는 비탈면 안전 대책 공법의 일종으로 많이 활용되어 오고 있다.

현재 국내에서 적용되고 있는 산마루측구의 설계기준은 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 참고로 할때, 흙막기부 비탈면의 정상 끝단에서 2.0m 벗어난 지점에 설치하며, 지형상 필요한 곳에만 설치하도록 하고 있다(건설교통부 2003, 한국도로공사 2000).

다음 그림 2는 일반적으로 시공되고 있는 산마루측구의 형식을 나타낸 것이다.

산마루측구
(콘크리트 형식 1.2.3)

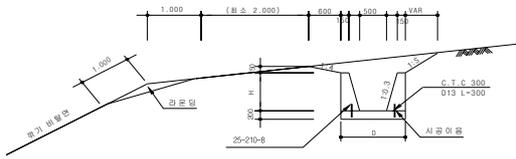


그림 2. 산마루측구 형태

위의 그림과 같은 단면을 기준으로 각 형식별 및 종단경사에 따른 통수량을 결정하고, 현장에서 이를 적절히 반영하여 시공하도록 하고 있다.

3. 산마루측구 배수성능에 대한 문제점

본 연구에서는 도로주변 비탈면의 상부 배면으로부터 흘러들어오는 표면수를 원활히 배수하기 위해 설치되는 산마루측구의 설치 적정성을 평가함으로써, 산마루측구가 사면안정성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 산마루측구의 설치시 설계 및 시공, 유지관리시의 문제점을 기술하면 다음과 같다.

3.1 설계 문제점

전술한 바와 같이, 현행 도로주변 절토 비탈면에 설치되어 있는 산마루측구는 비탈면 상부 배면으로부터의 표면수에 의한 사면안정성 저하를 막기 위하여 설치하되, 설치에 필요한 위치 및 조건에 대해서는 특별하게 언급하지 않고 있는 실정이다. 또한 산마루측구의 설치 규모에 대해서도 표면수의 월류에 의한 비탈면 붕괴 위험성을 줄이기 위하여 통수단면의 결정에 있어 여유가 있는 단면으로 설계하도록 권장하고 있어, 실제 현장에서는 거의 획일화된 규격에 의한 시공이 이루어지고 있다.

3.2 현장시공 문제점

산마루측구의 시공은 일반적으로 비탈면의 시공이 완료된 후, 비탈면 상부 정상 끝단부에서 배면쪽으로 설치하게 된다. 비탈면 정상 배면쪽을 터파기 한 후 PE U형이나 프리캐스트 콘크리트 또는 거푸집을 시공 후 콘크리트를 타설한다.

그러나, 많은 경우 터파기한 부분과 산마루측구 사이의 되메우기가 어려워 매우 느슨한 상태로 존재하게 되며, 시간 경과에 따라 지표수에 의해 침식되어 상부로부터 흘러 내려온 지표수가 적절히 배수되지 못하고, 오히려 지표수를 지중으로 유도하게 되어 사면안정성을 저하시키는 경우가 발생하고 있다(그림 3).

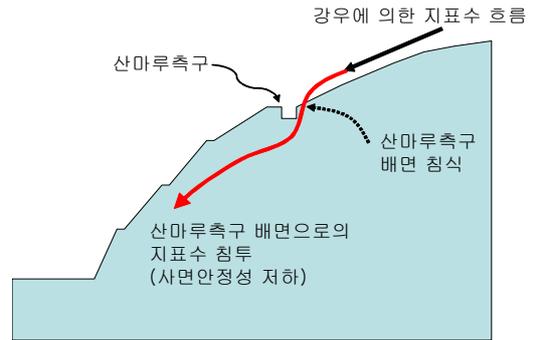


그림 3. 산마루측구 기능저하에 의한 배면으로의 우수침투 개념도

또한, 침식이 과도하게 발생할 경우 산마루측구 배면 지반의 파괴로 인해 시공되어 있는 산마루측구의 파괴로 이어지기도 한다. 그림 4, 5는 현장에서 산마루측구의 배수 상태가 원활하지 못하여 발생한 지반붕괴사진이다.



그림 4. 산마루측구와 배면지반 사이의 침식



그림 5. 과도한 침식에 의한 산마루측구 붕괴

4. 산마루측구의 기능에 따른 사면안정성 평가

4.1 접근방법

일반적으로 행하는 절개면의 안정성 평가는 건기시와 우기시로 구분하여 각각의 소요안전율을 달리하고 있으며, 우기시의 조건은 지하수 조건을 입력변수로 하여 시행하고 있다. 또한 최근에는 불포화토에 대한 사면안정성 평가방법이 연구되고 있다(이승래, 2003). 그러나, 현장에서의 붕괴사례 조사 결과, 사면의 붕괴는 강우에 의한 포화도 증가 혹은 지하수위 상승에 의한 원인 이외에도 비탈면의 지표수 침투 억제를 위해 설치된 산마루측구가 제 기능을 발휘하지 못하여 붕괴로 발전하는 비율도 높은 것으로 조사되었다. 따라서, 산마루측구의 설치여부 및 기능발휘 여부도 사면안정성 평가의 중요한 인자로 사용되어야 할 것으로 판단되었다.

따라서, 본 연구에서는 산마루측구의 설치여부가 사면안정성에 미치는 영향을 평가하고, 설치된 산마루측구가 지표수 처리능력을 상실하였을 경우의 사면안정성 변화를 해석적으로 검토함으로써, 사면안정성 평가시 산마루측구가 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

4.2 해석조건 및 방법

산마루측구의 역할에 따른 사면안정성을 평가하기 위하여 가정된 강우조건에 의해 지표수 및 지중으로의 침투효과를 고려하고 다음의 조건을 고려하여 수행하였다.

지반은 전체 사면이 토사로 구성된 경우와 토사, 풍화암, 연암으로 구성된 경우로 구분하였으며, 지반의 물성치는 사면안정 해석을 위해 적용된 사례로부터 일반적인 값을 적용하였다(그림 6, 7, 표 1). 또한, 사면 배면에 따라 다른 영향을 평가하기 위하여 배면 경사가 수평인 경우, 15° 및 30° 상향인 경우에 대해 모델링하였다.

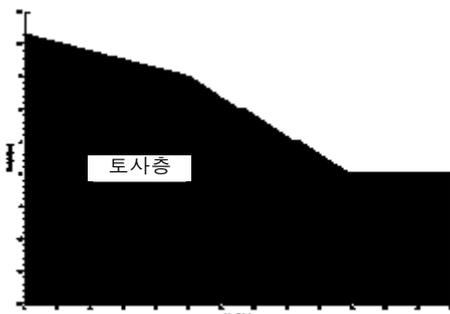


그림 6. 토사사면 해석단면 예
(측구 불고려, 배면경사 상향 30°)

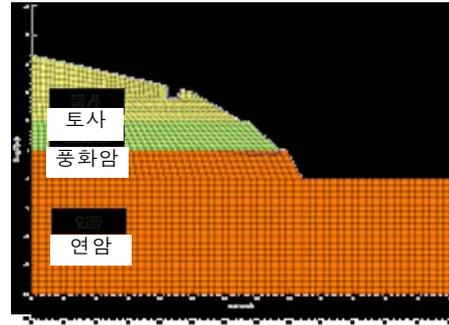


그림 7. 암반사면 해석단면 예
(측구 고려, 배면경사 상향 30°)

표 1. 해석에 이용된 지반 물성치

구분	단위중량 (tf/m^3)	점착력 (tf/m^2)	내부마찰각 ($^\circ$)	투수계수
토사	1.8	0.5	30	$1.0 \times 10^{-2} \text{cm}/\text{sec}$
풍화암	2.0	1.5	35	$1.31 \times 10^{-6} \text{cm}/\text{sec}$
연암	2.2	2.0	40	$1.232 \times 10^{-6} \text{cm}/\text{sec}$

지하수조건은 사면높이의 중간부분에 지하수가 위치하는 것으로 가정하여 최하단 부분에서 7.5m에 위치하는 것으로 하였으며, 강우조건은 강우강도로서 10mm/hr로 가정하여 해석에 적용하였다.

산마루측구는 실제 시공에 적용되는 형태를 그대로 적용하였으며, 산마루측구가 사면 배면으로부터의 지표수를 배수하는 조건과 배면 침식으로 인해 지표수 처리기능이 저하되었을 경우 각각을 고려하였다. 각 조건별 해석모델링은, 측구가 설치되지 않았을 경우, 측구가 설치되었을 경우 그리고 측구가 설치되었으나 파괴가 발생한 경우에 대하여 구분하였다. 측구가 설치되지 않은 경우는 지반의 투수성에 따라 강우가 지표수와 침투수로 구분되어지며, 침투되지 못한 지표수는 사면 아래쪽으로 갈수록 강우와 더해져 침투량이 증가하는 것으로 모델링 하였다. 측구가 설치된 경우는 원 사면 상부로부터 지표수가 흘러내려오다가 산마루측구에서 모두 배수되어 사면하부로는 영향을 미치지 않도록 모델링 하였다. 또한 산마루 측구가 파괴된 경우는 사면 상부로부터 누적된 지표수가 산마루측구 바로 배면으로 모두 유입되도록 모델링 하여 해석을 시행하였다.

해석방법은 사면의 안정성의 내적인 요인 중 모관흡수력은 지반의 전단강도에 영향을 미치므로 침투류 해석에서 계산된 사면내 모관흡수력의 분포가 고려된 확장 Mohr-Coulomb 전단강도 규준을 반영하여 한계평형법을 이용한 사면안정성 해석을 수행하였다. 사면 안정성 해석에서 사면의

파괴깊이 및 형태는 지반특성과 강우조건(모관흡수력 변화 등)에 의해 크게 영향을 받기 때문에 일반적인 깊은파괴와 천층파괴(표면파괴)의 가능성 또한 검토하였다.

본 연구에서 사용된 해석프로그램은 비교적 검증이 이루어진 상용 유한요소 프로그램인 SEEP/W(1998)과 SLOPE/W(1998)을 이용하였다.

해석조건은 총 18가지의 경우로 해석하였으며 표 2에 기술한 6가지 경우의 지반조건 및 강우조건에 대해, ① 산마루측구 미설치 ② 산마루측구 설치(지표수 배수) ③ 산마루측구 설치(배면 침식에 의한 지표수 유입)의 각각 조건을 고려하여 해석하였다.

표 2. 지반조건 및 강우조건

구 분		사면 배면 경사	지하 수위	강우 강도	투수계수	
Case I	토사사면 (1:1.5)	수평	EL+ 7.5m	10mm /hr	$1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$	
Case II		상향 15°				
Case III		상향 30°				
Case IV	토사-풍화암-연암 (1:1.5/1:1.0/1:0.5)	수평	EL+ 7.5m	10mm /hr	토사	$1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$
Case V		상향 15°			풍화암	$1.31 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$
Case VI		상향 30°			연암	$1.232 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$

4.3 해석결과 및 분석

검토대상 조건에 대한 해석결과의 예를 그림 8, 9에 나타내었다. 각각의 해석조건에 대하여 산마루측구가 설치되지 않았을 경우, 설치되었을 경우, 설치되었으나 배면 침식으로 인해 지표수가 유입될 경우에 대한 안전율 변화는 그림 10과 같이 나타났다. 또한 사면 배면 경사에 따른 각 조건별 사면안전율 변화는 토사사면과 암반사면에 대해 각각 그림 11, 12와 같이 나타났다.

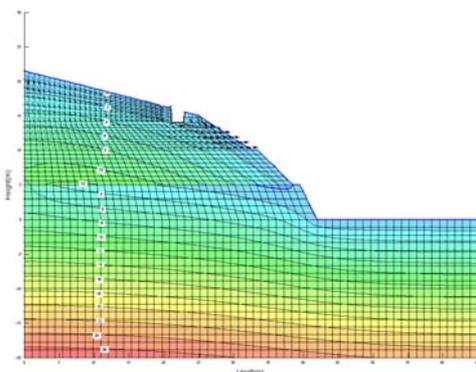


그림 8. 강우에 의한 침투해석 결과 예 (측구고려, Case 6 기준)

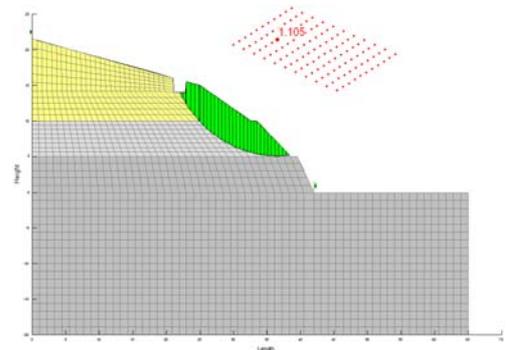


그림 9. 사면안정성 검토결과 예 (측구고려, Case 6 기준)

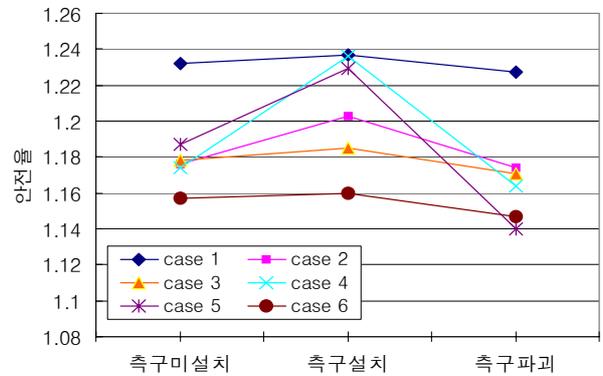


그림 10. 산마루측구 설치 및 배수조건에 따른 사면안정성 변화

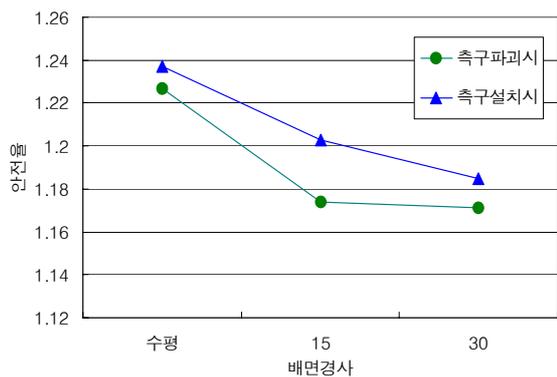


그림 11. 배면경사에 따른 안전율 변화(토사)

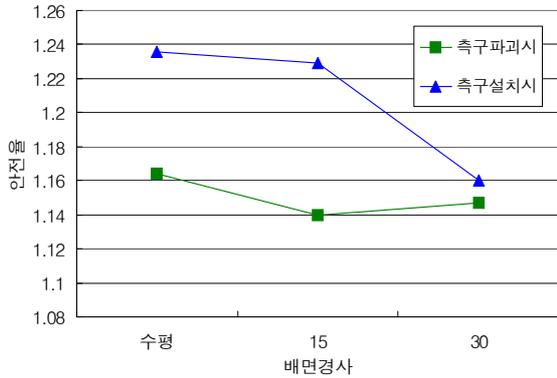


그림 12. 배면경사에 따른 안전율 변화(암반)

산마루측구의 설치여부 및 배수기능 발휘 여부에 따른 사면안정성 평가결과, 동일한 지형여건에 대하여 산마루측구가 설치되었을 경우가 설치되지 않았을 경우보다 전체적으로 약 2%정도의 안전율 증대효과가 있었고, 토사사면의 경우는 1.1%, 암반사면의 경우는 3%정도가 증가하였다. 또한 산마루측구가 설치되었다 하더라도 배면 토사의 침식으로 인해 상부로부터 지표수가 원활히 배수되지 못한 경우는 산마루측구 지표수를 전부 배수하였을 경우보다 전체적으로 약 3.1%정도의 안전율이 감소하였으며, 토사사면의 경우는 1.5%, 암반사면의 경우는 4.8%의 안전율이 감소하였다. 산마루측구 배면의 침식으로 배수가 이루어지지 않고 오히려 지표수 유입을 유도하였을 경우는 산마루측구가 설치되지 않았을 경우보다 오히려 안정성이 저하되었으며 전체적으로 약 1.1% 정도의 안전율 감소가 발생하였고, 암반사면의 경우는 약 2%의 안전율이 감소되었다.

따라서, 사면안정성 해석시 강우에 의한 안정성 검토를 수행할 경우에는 산마루측구의 설치유무를 고려하여야 하며, 산마루측구가 설치된 경우라도 배수성능을 고려해야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 도로 절개면 상부에 사면 배면으로부터의 지표수 배수를 목적으로 시공되고 있는 산마루측구가 사면 안정성에 미치는 영향을 평가하고, 시공에 따라 지표수를 적절히 배수하지 못하여 침식에 의한 토사유실이나 붕괴가 발생하는 경우가 빈번하게 발생하고 있어, 배수기능 상실에 따른 사면안정성 변화를 수치해석적으로 검토하였으며,

그 결과는 다음과 같다.

- (1) 산마루측구의 설치는 사면 배면으로부터의 지표수를 원활히 배수하여 사면의 안정성을 증대시키는 목적으로 시공되나, 현장조사 결과 현장 시공여건의 불리함 때문에 장기적으로 침식이 발생하여 토사유실 혹은 붕괴가 발생하고 있어 시공능력향상 또는 설계기준상의 침식방지대책 수립이 필요하다고 판단된다.
- (2) 강우 침투를 고려한 사면안정성 평가시, 본 연구에서 일반화한 형상으로 고려한 사면일 경우 산마루측구의 고려여부에 따라 암반사면에서 평균 약 3% 정도의 사면안전율 변화가 발생하는 것으로 계산되어 이를 무시하고 해석하기는 어려울 것으로 판단된다.
- (3) 산마루측구의 기능을 상실하여 지표수의 유입을 유도하는 경우는, 산마루측구가 설치되지 않은 사면보다도 안전율이 작은 것으로 검토되었다. 산마루측구의 파괴로 지표수 유입을 유발하는 경우는, 지표수가 산마루측구를 통해 원활히 배수되는 조건에 비하여 토사사면의 경우는 1.5%, 암반사면의 경우는 약 4.8%정도 사면안전율이 작게 계산되었고, 측구가 설치되지 않은 원지반 안전율에 비해서는 토사사면의 경우는 1.1%, 암반사면의 경우는 약 2% 정도 안전율이 감소하는 것으로 검토되었다.
- (4) 따라서, 산마루측구는 사면의 안정성 확보를 위해 필요한 구조물이라 판단되며, 안정성 검토시 이에대한 고려가 필요하다고 판단된다. 또한 시공 및 유지관리상의 문제로 산마루측구에서 원활한 지표수배수가 이루어지지 않았을 경우는 산마루측구를 설치하지 않았을 경우보다도 안전율이 저하되므로 산마루측구와 상부 배면지반 인접부에 대한 별도의 보호설계기준이나 유지관리상의 대책이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 상지대학교 2004년도 교내연구비로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

(접수일자 : 2004년 10월 28일)

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2003), 도로설계편람, 도로배수시설 설계 및 유지관리지침.
2. 이승래, 이성진, 변위용, 장범수(2001), 화강풍화토 지반의 불포화 특성을 고려한 최적화기법에 의한 사면안정해석 방법, 한국지반공학회 논문집, 제 17권, 제 6호, pp. 123~133.
3. 이승래, 이성진, 김윤기(2004), 강우침투를 고려한 불포화 사면지반의 안정해석 시스템, 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회 논문집, pp. 19~28.
4. 한국도로공사(2000), 도로설계요령, 제4편 토공 및 배수편, pp. 410-2~410-78.
5. Geotechnical Engineering Office(1997), Geotechnical Manual for Slopes, pp. 95~105.
6. Geo-Slope(1998), User's Guide for SEEP/W, version 4. Geo-slope International Ltd, Canada.
7. Geo-Slope(1998), User's Guide for SLOPE/W, version 4. Geo-slope International Ltd, Canada.