

비탈면 안정화기술의 연구동향 및 개발방향

황영철*

1. 서론

최근들어 집중호우 등으로 인해 빈번해진 비탈면의 붕괴를 억제하기 위하여 비탈면 안정화기술이 급속하게 발전하고 있다. 특히 최근에는 신기술제도의 도입으로 비탈면 안정화를 위한 보강기술의 발전이 두드러지고 있다. 비탈면의 안정화를 위해서는 보강기술의 개발뿐만 아니라, 설계기준이나 설계기술, 유지관리기술, 예측기술 등 다양한 분야의 기술개발이 이루어져야 함에도, 최근 진행되고 있는 연구분야의 노력은 보강기술분야로 치우쳐 있는 실정이다. 이러한 관점에서 비탈면의 안정화를 위한 노력은 각 부분에서 균형적으로 비탈면의 안정화를 도모할 수 있는 기술개발 방향이 설정될 필요가 있다. 본고에서는 향후의 비탈면 안정화 기술 개발방향 설정에도움이 될 수 있도록 비탈면 안정화기술의 최근 동향을 파악하고, 비탈면의 안정화를 위하여 개선 및 개발되어야 할 필요가 있는 분야를 소개하고자 한다.

2. 최근의 연구동향

최근의 국지성 호우는 많은 비탈면 붕괴를 일으키고 있으며 올해에도 호우로 인해 인공비탈면 및 자연비탈면에서 많은 붕괴가 발생하여 재산 및 인명피해를 발생시켰다. 비탈면의 안정을 위해서는 비탈면의 조사, 설계, 시공 및 유지관리로 이어지는 일련의 과정을 면밀히 분석하고 문제점을 해결하기 위한 제도적인 투자 혹은 연구가 이루어져야 함은 주지의 사실이다(그림 1). 그러나, 최근의 연구는 주로 산업체 주도로 개발된 기술이 주를 이루고 있어 새로운 보강기술이나 관측기술 등에 초점이 맞추어져 있다. 본 고에서는 비탈면과 관련된 최근의 기술개발 및 연구동향을 파악하기 위하여 최근 5년간 대한토목학회 및 한국지반공학회 등에 발표된 학술논문을 조사하고 이를 조사, 설계, 시공, 유지관리 및 사례발표 분야로 나누어 분류하였다(그림2, 3).

조사된 자료를 붕괴사례분야를 제외하고 조사분야, 설계분야, 시공분야 및 유지관리분야의 4개분야로 분류하면 지금까지의 기술은 주로 조사분야에서

* 상지대학교 건설시스템공학과 교수(ychwang@sangji.ac.kr)

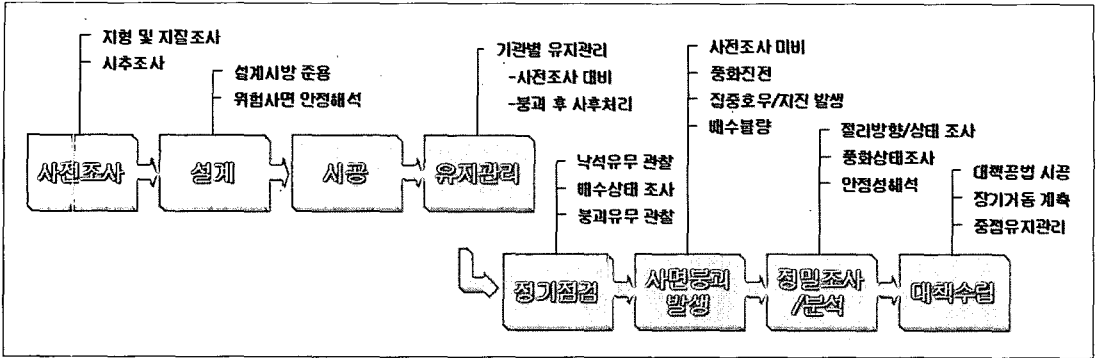


그림 1. 비탈면의 설계, 시공 및 유지관리 흐름도

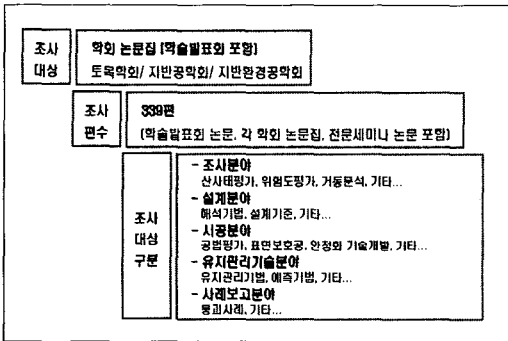
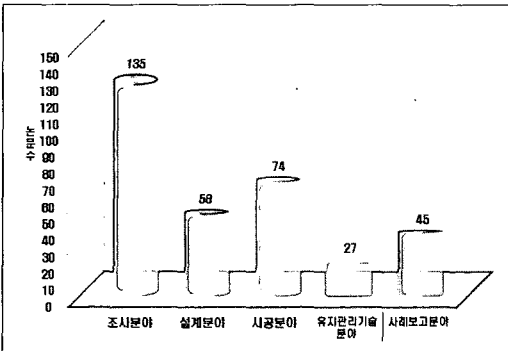


그림 2. 연구동향 조사 개요

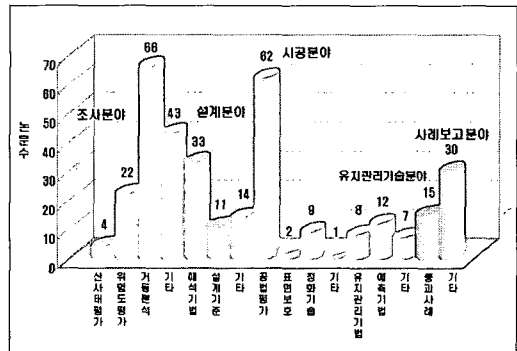
약 46%정도의 논문이 발표되어 대부분의 논문은 비탈면 조사분야에서 많은 연구가 수행되었음을 알 수

있다. 이는 최근의 공사발주제도와 맞물려 첨단기술을 이용한 연구가 활발히 진행되었기 때문으로 분석된다. 조사분야에서는 지반의 거동분석과 관련된 논문이 약 49%정도로 가장 많은 부분을 차지하였다.

조사분야다음으로 많은 논문이 발표된 분야가 시공분야이다. 시공분야에서는 대부분의 논문이 비탈면 안정화를 위한 공법개발이나 공법의 성능을 평가하는 분야에 집중되었다. 시공분야로 분류된 74편의 논문 중 84%인 62편의 논문이 이 분야에서 발표되었다.



(a) 비탈면 연구분야별 발표 논문 수



(b) 세부 분야별 발표논문 수

그림 3. 비탈면 안정화를 위한 세부 분야별 발표논문 수

비탈면 안정화기술의 연구동향 및 개발방향

발표된 대부분의 논문을 조사한 결과 최근 5년간의 연구는 비탈면의 거동 분석 분야와 비탈면 안정화를 위한 공법개발 및 평가분야에 집중된 것을 알 수 있으며, 이 분야의 논문은 전체 논문의 약 44%를 차지하였다.

3. 국내 비탈면 설계기준의 문제 사례

일반적으로 도로 혹은 철도를 건설할 경우 노선을 따라 절·성토의 비탈면이 생성되며, 시공되는 비탈면의 안정성을 확보하기 위하여 비탈면의 안정성 검토를 시행하고 필요시 보강대책을 수립하게 된다. 그러나, 비탈면의 안정성 검토는 대절토 비탈면이나

특이한 지형 및 지반조건일 경우에 한해 실시하고, 높이가 낮은 비탈면은 표준경사를 적용하여 설계하고 있다.

그러나 표준경사가 적용된 비탈면에서도 상당히 많은 붕괴 혹은 유실이 발생하고 있는 실정이다. 따라서, 본 고에서는 비탈면 표준경사를 기준으로 시공된 비탈면의 안정성 검토를 수행하였다. 이를 위하여 현재 국내 여러 기관에서 제시하고 있는 비탈면 경사기준, 소단 적용기준, 건기 및 우기시 지하수위 적용기준 등을 조사하였다. 표 1은 국내 여러 기관에서 설계에 적용하고 있는 깎기 비탈면의 표준경사기준을 나타낸 것이다.

국내 건설교통부 비탈면 지하수위 기준은 토사 또는 풍화암층의 경우 건기시에는 지하수위를 고려하

표 1. 국내 기관별 비탈면 표준기울기

토질조건		깎기 높이	건설교통부	도로공사	토지공사	주택공사	고속철도	
토 사 (사질토, 점성토)		5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	
		0~5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2		
리 핑 암 (풍화암)		5m 이상	1:1.0~1:1.2	1:1.0~1:1.2	1:1.0	1:1.2	1:1.0	
		0~5m				1:1.0		
발파암	연 암	5m 이상	1:0.5~1:0.7	1:0.7~1:1.0	1:0.5	1:1.0	1:0.7	
		0~5m				1:0.8		
	경 암	5m 이상		1:0.5		1:0.8		1:0.5
		0~5m				1:0.5		

표 2. 국내 각 기관별 지하수위 적용기준

구 분	기 관	조 건	적 용 기 준	
			건 기	우 기
도로설계 요령 (토공 및 배수)	도로공사 (2002)	암반	인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음	인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 $H_w=0.5H$ 로 가정하여 적용
		토층/풍화암	지하수위 미고려	지하수위는 지표면에 위치
국도건설공사 설계실무요령	건교부 (2004)	암반	인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음	인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 $H_w=0.5H$ 로 가정하여 적용
		토층/풍화암	지하수위 미고려	지하수위는 지표면에 위치
Koland설계기법 연구보고서	토지공사	-	건기시 시추공의 수위적용	지하수위는 $GL(-) 3.0m$ 적용하고, 강우에 의한 표면파괴해석

표 3. 해석 단면

비탈면높이	해석 단면	모델링 단면
H=5m		
H=10m		
H=15m		

지 않고, 우기시에는 지표면까지 지하수위가 포화된 것으로 보고 비탈면의 안정성 평가를 실시하며, 건설교통부 산하 토지공사는 도로공사와 우기시 지하수위를 지표면 3.0m 아래에서 지표까지 위치하도록 권고하고 있다. 그러나 최근 도로공사와 토지공사에서도 건설교통부의 기준을 따라 우기시 지하수위가 지표면에 위치하는 것으로 개정하여 적용하고 있는 추세다. 표 2는 각 기관별 지하수위 적용기준을 나타낸 것이다.

조사된 비탈면의 설계기준을 근거로 하고, 현재 일반적으로 사용되는 지반물성치를 적용하여 안정 해석을 실시하였다. 본 해석에 사용된 강우시 비탈면의 안정성 검토 기준은 한국도로공사의 도로설계

요령으로 검토하였으며 안전율은 건기시 $F_s \geq 1.5$, 우기시 $F_s \geq 1.2$ 를 기준으로 안정성을 검토하였다. 비탈면 높이는 5m, 10m, 15m일 경우를 검토하고, 건기시와 우기시(지하수위 지표면 위치)일 경우에 대하여 각각 해석을 실시하였다(표 3, 4, 그림 4). 해석은 TALREN97 프로그램을 이용하였다. 다만 해석하는 프로그램의 종류와 예상파괴면의 종류 등과 같은 해석 세부조건에 따라 안전율은 조금씩 차이가 있을 수 있을 것이다.

각 조건별 안정성 검토결과 우기시 및 건기시 설계소요안전율을 확보하지 못하는 경우가 많이 나타났다. 높이 5m 비탈면의 경우 전체 21개의 조건 중 우기시 약 43%, 건기시 약 38%가 불안정한 것으로

비탈면 안정화기술의 연구동향 및 개발방향

표 4. 표준경사 적용 비탈면에 대한 토질종류별 안전율 검토 결과

토질 No.	구 분		γ	c	ϕ	높이 5m		높이 10m		높이 15m		통일분류
						우기시	건기시	우기시	건기시	우기시	건기시	
1	자갈	밀실한 것, 입도가 좋은것	2.0	0.0	40	0.16	1.01	0.35	1.26	0.35	1.26	GW, GP
2		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜것	1.8	0.0	35	0.06	0.85	0.21	1.05	0.21	1.05	
3	자갈섞인 모래	밀실한 것	2.1	0.0	40	0.21	1.01	0.40	1.26	0.40	1.26	GW, GP
4		밀실치 않은 것	1.9	0.0	35	0.10	0.85	0.25	1.05	0.25	1.05	
5	모래	밀실한 것, 입도가 좋은것	2.0	0.0	35	0.14	0.85	0.29	1.05	0.40	1.26	SW, SP
6		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜것	1.8	0.0	30	0.05	0.70	0.17	0.87	0.17	0.87	
7	사질토	밀실한 것	1.9	3.0	30	2.48	3.28	1.68	2.59	1.31	2.17	SM, SC
8			1.9	1.5	30	1.42	2.19	1.11	1.91	0.90	1.69	
9		밀실치 않은것	1.7	0.0	25	0.01	0.57	0.11	0.70	0.11	0.70	
10	점성토	밀실한 것	1.8	5.0	25	3.79	4.66	2.33	3.17	1.74	2.54	ML, CL
11			1.8	2.5	25	2.10	2.80	1.39	2.18	1.08	1.82	
12		약간무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)	1.7	3.0	20	2.43	3.10	1.51	2.19	1.13	1.78	
13		무른 것(손가락이 쉽게 들어감)	1.7	2.0	20	1.72	2.31	1.11	1.78	0.85	1.47	
14			1.7	1.5	20	1.35	1.92	0.91	1.54	0.71	1.30	
15	1.7		0.8	20	0.81	1.34	0.62	1.18	0.50	1.05		
16	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 들어감)	1.7	5.0	20	3.84	4.61	2.28	3.01	1.67	2.39	CH, MH, ML
17			1.7	2.5	20	3.51	3.64	1.32	1.99	1.00	1.63	
18		약간무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)	1.6	3.0	15	2.44	3.03	1.45	2.01	1.07	1.60	
19			1.6	1.5	15	1.32	1.80	0.84	1.36	0.63	1.13	
20		무른것(손가락이 쉽게 들어감)	1.4	1.5	10	1.35	1.79	0.79	1.21	0.57	0.97	
21			1.4	0.8	10	0.76	1.12	0.47	0.86	0.35	0.72	

나타났고, 높이 10m 비탈면은 우기시 67%, 건기시 52%, 그리고 높이 15m 비탈면의 경우는 우기시 86%, 건기시 62%가 안정성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다. 각 기관에서 권고하고 있는 비탈면 기울기, 지반강도정수 등을 적용한 비탈면 안정 해석은 모두 안정된 결과를 나타내어아함에도 불구하고, 불안정한 결과를 나타내었다. 표준 비탈면의 해석결과가 불안정하게 검토된다는 것은 국내 각 기관에서 권고하고 있는 비탈면 경사조건이나 설계조건에 문제점이 있거나, 현재 대부분이 적용하고 있는 해석기법이 문제가 있음을 나타내고 있다고 판단된다.

다만, 설계적용기준에는 표준경사 이외에 현장의 조건을 고려하여 설계하도록 권고하고 있으나, 대부분의 경우 표준경사 적용시에는 별도의 안정성 검토를 수행하지 않고 있는 실정이다.

4. 비탈면 배수 유지관리 문제 사례

비탈면 배수는 표면배수와 지하배수로 구분할 수 있으며, 표면배수는 산마루측구, 종배수구 및 소단배수구가 있다. 실제로 강우에 의한 비탈면 붕괴는 사면에 시공된 배수공법의 배수능력에 따라 안정성

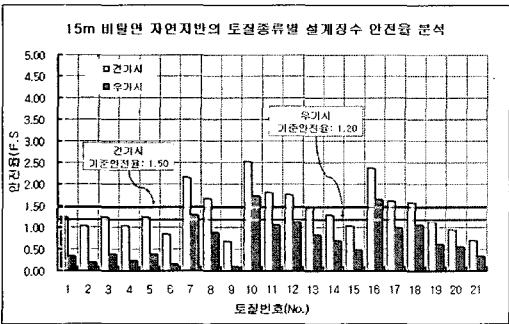
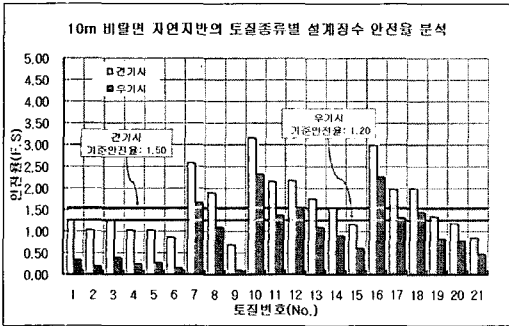
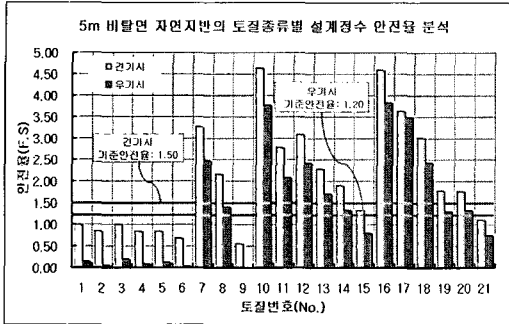


그림 4. 비탈면 조건별 안전율 변화

이 크게 달라질 수 있다. 특히 최근의 강우형태는 시간당 100mm 이상의 집중호우 형태를 띠고 있어, 비탈면에서의 원활한 배수는 비탈면 안정확보를 위해 무엇보다 중요한 사항이라 할 수 있다(표 5).

표 5. 최근의 지역별 강우강도

년도	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년
강우강도(mm/hr)	109	108	108	115	102
발생위치	강릉	남해	산청	포항	대관령

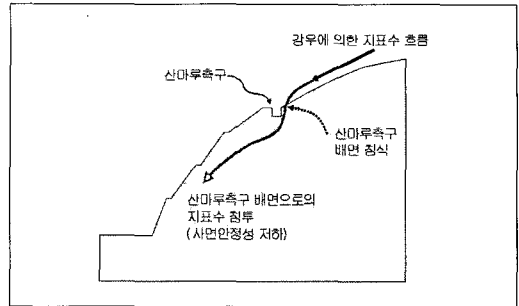


그림 5. 산마루측구 기능저하에 의한 배면으로의 우수침투 개념도

그러나, 앞에서 조사된 최근의 연구동향 분석결과 비탈면의 배수공법개발이나 배수공법 적용에 따른 사면안정성의 평가기준 등에 관한 연구는 별로 수행되고 있지 않은 실정이다. 현재의 설계기준으로는 지표면까지 포화하는 것으로 가정하여 설계하는 것이므로 배수체계와는 무관하게 안정성을 확보해야 하는 것도 한 이유가 될 수 있지만, 실제로 잘못된 배수시공은 사면안정성에 오히려 위해를 가하는 경우도 발생하고 있다. 본 연구에서는 비탈면 배수공법 중 산마루측구의 시공 및 유지관리 불량에 안정성에 미치는 영향을 해석적으로 간략히 검토하였다.

비탈면 배수공법과 관련하여 산마루측구의 시공은 일반적으로 비탈면의 시공이 완료된 후, 비탈면 상부 정상 끝단부에서 배면쪽을 터파기 하여 설치하게 된다. 그러나, 많은 경우 터파기한 부분과 산마루측구 사이의 되메우기가 어려워 매우 느슨한 상태로 존재하게 되며, 시간 경과에 따라 지표수에 의해 침식되어 상부로부터 흘러내려온 지표수가 적절히 배수되지 못하고, 오히려 지표수를 지중으로 유도하게

비탈면 안정화기술의 연구동향 및 개발방향

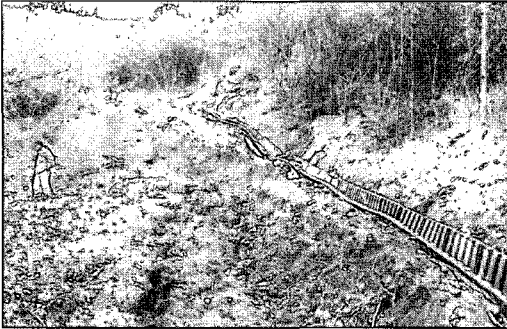


그림 6. 산마루측구와 배면지반 사이의 침식에 의한 지반붕괴

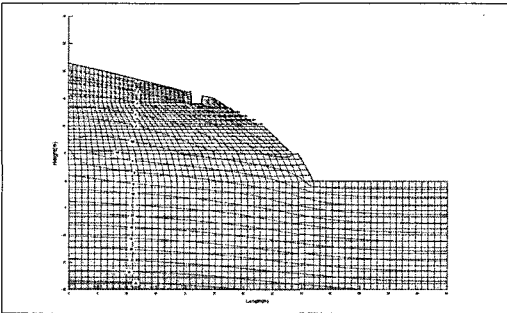
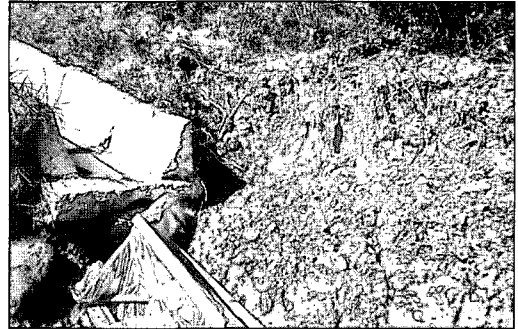


그림 7. 강우에 의한 침투해석

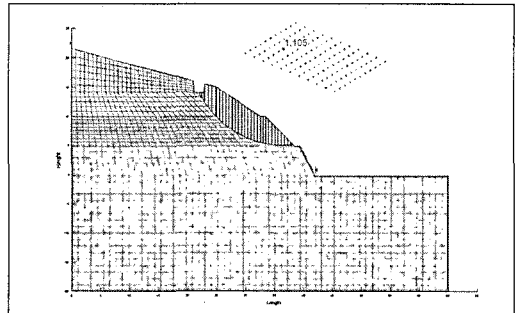


그림 8. 침투조건 고려한 사면안정성 검토

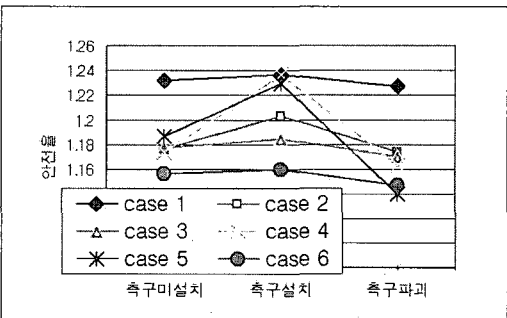


그림 9. 산마루측구 설치 및 배수조건에 따른 사면안정성 변화

되어 사면안정성을 저하시키는 경우가 발생하고 있다(그림 5).

또한, 침식이 과도하게 발생할 경우 산마루측구 배면 지반의 파괴로 인해 시공되어 있는 산마루측구의 파괴로 이어지기도 한다. 그림 6은 현장에서 산마

루측구의 배수상태가 원활하지 못하여 발생한 지반 붕괴사건의 예이다.

산마루측구의 배수성능에 따른 비탈면의 안정성을 검토하기 위하여 다음 그림과 같이 강우에 의한 침투해석과 안정성 해석을 수행하였다(그림 7, 8). 비탈면의 안정성 해석은 ①산마루측구가 설치되지 않았을 경우, ②설치되었을 경우, ③설치되었으나 배면 침식으로 인해 지표수가 산마루측구로 유입될 경우를 모사하여 해석을 실시하였으며, 해석프로그램은 GEO SLOPE사의 SEEP/W와 Slope/W 프로그램을 이용하였다.

강우시 지반침투조건은 지반의 특성별로 다를 수 있으므로, 강우침투조건 및 산마루측구 배면의 경사를 여러 가지 조건으로 검토하여 해석하였다(그림 9).

산마루측구의 설치여부 및 배수기능 발휘 여부에 따른 안정성 평가결과, 동일한 지형여건에 대하여 산마루측구가 설치되었을 경우가 설치되지 않았을 경우보다 전체적으로 약간의 안전을 증대효과가 있음을 알 수 있었다. 그러나, 산마루측구가 설치되었다 하더라도 배면 토사의 침식으로 인해 상부로부터의 지표수가 원활히 배수되지 못하고 지중으로의 침투를 유발한 경우에는 산마루측구를 설치하지 않은 경우보다 오히려 안전율이 감소하는 것으로 나타났다.

따라서, 비탈면의 안정성을 증대시키기 위한 배수 공법의 경우도 시공 및 유지관리 미흡으로 오히려 안정성이 저하될 수 있으므로 이를 고려한 공법의 개발이나 유지관리기준 등의 세부적인 기준 수립이 필요한 것으로 판단된다.

특히, 비탈면 배수와 관련한 도로설계기준(2005. 12, 건설교통부)에 의하면 산마루측구 및 도수로 설계의 기준이 되는 설계발생빈도는 10년으로 규정되어 있어, 최근의 집중호우형태의 강우로부터 비탈면의 안정을 확보하기에는 문제점이 있다고 할 수 있으며 이러한 분야에 대해서도 많은 연구가 수행될 필요가 있다고 판단된다.

5. 맺음말

최근의 기상변화로부터 비탈면의 붕괴를 감소시키고 인명 및 재산을 보호하기 위해서는 많은 노력이 요구된다. 다만 이러한 노력이 비탈면 안정화기술의 전반적인 체계를 개선하지 못하고 일부 신기술

의 개발 등에만 치우친다면 공학자들의 많은 노력에도 불구하고 여전히 많은 비탈면의 붕괴를 반복해서 경험하게 될 수도 있을 것이다. 최근 정부의 많은 노력으로 비탈면 안정화기술이 첨단화되고는 있으나, 조사/설계에서 시공 및 유지관리까지 그리고 비탈면을 구성하는 세부요소들의 세세한 평가와 개선노력 또한 비탈면의 안정성을 위하여 매우 중요한 요소를 간과해서는 안될 것이다.

본 연구에서 지적한 바와 같이 비탈면의 여러 분야에서의 관심과 기술개발로 국내의 비탈면으로 인한 재해가 사라지기를 기대한다.

참고문헌

1. 건설교통부(2005), 도로설계편람, 도로배수시설 설계 및 유지관리지침
2. 한국도로공사(2002), 도로설계요령, 제4편 토공 및 배수편
3. 황영철(2005), 도로 절토사면 산마루측구 배수성능에 따른 사면안정성 평가, 한국지반환경공학회 논문집
4. 황영철(2006), 비탈면 안정화기술의 개발방향, 한국지반공학회 학술발표회
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