

비탈면 안정화기술의 개발방향

A Policy for Research and Development for Slope Stability

황영철¹⁾, Young-Cheol Hwang

¹⁾ 상지대학교 건설시스템공학과 교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Sangji Univ.

SYNOPSIS : 최근 들어 집중호우 등으로 인해 빈번해진 비탈면의 붕괴를 억제하기 위하여 비탈면 안정화기술이 급속하게 발전하고 있다. 특히 최근에는 신기술체도의 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 개발 방향 설정에 도움이 될 수 있도록 비탈면 안정화기술의 최근 동향을 파악하고, 비탈면의 안정화를 위하여 개선 및 개발되어야 할 필요가 있는 분야를 소개하고자 한다.

Keywords : slope failure, slope stability, slope reinforcement preventing method

1. 서 론

최근의 비탈면 안정화 기술은 학회 및 산업체의 노력으로 급속하게 발전하고 있다. 그러나, 최근의 국지성 호우로 인해 많은 비탈면이 붕괴되고 있다. 올해에도 인공비탈면 및 자연비탈면에서 많은 붕괴가 발생하여 재산 및 인명피해를 발생시켰다. 비탈면의 안정을 위해서는 설계, 시공 및 유지관리 분야 전반에 걸쳐 기술의 개발과 노력이 필요하나, 최근의 기술개발은 비탈면의 보강기술 측면과 유지관리분야에서만 주로 수행되고 있는 실정이다. 특히 최근 건설신기술의 도입으로 비탈면 안정화기술개발 연구는 주로 산업체가 주도하여 보강기술을 개발하고 있다. 다행히, 건설교통부에서 수행하는 대형 연구과제의 발주로 유지관리 분야에서도 다양한 첨단기술의 개발이 시도되고 있는 실정이다.

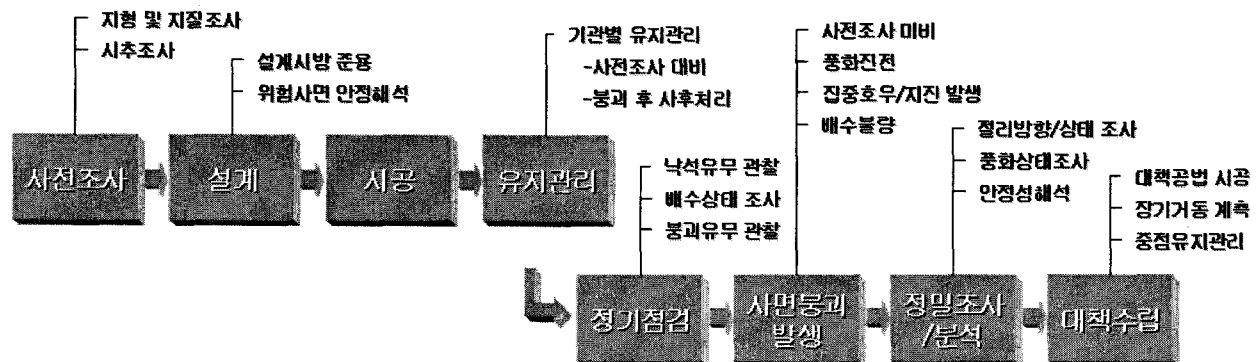


그림 1. 비탈면의 설계, 시공 및 유지관리 흐름도

또한 비탈면의 안정화를 위한 설계기준에 대한 변경도 수행되고 있으나, 각 세부기준의 개선을 위해서는 좀더 학술적인 연구를 토대로 이루어질 필요가 있을 것이다. 위의 그림 1은 일반적으로 수행하는 비탈면의 조사, 설계, 시공 및 유지관리에 대한 흐름도를 나타낸 것이다.

2. 국내 비탈면 설계기준의 문제 사례

현재 국내 여러 기관에서 제시하고 있는 비탈면 경사기준, 소단 적용기준, 건기 및 우기시 지하수위 적용기준 등을 조사하였다. 깎기 비탈면은 쌓기 비탈면에 비하여 안정해석시 토질의 불균질성, 토질구성 상태, 지하수의 변동, 용수의 유무, 기상, 지형 등 많은 요인을 포함하고 있어 흙의 강도특성에 대한 정확한 판단이 곤란하여 신뢰성이 떨어진다. 그러므로 안정해석만으로 경사를 결정하는 것은 매우 위험한 일이며, 종합적인 판단에 의해 비탈면 경사를 결정해야 한다. 표 1.은 국내 여러 기관에서 설계에 적용하고 있는 깎기 비탈면의 표준경사기준을 나타낸 것이다.

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 평 압 (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 압	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 압	5m 이상		1 : 0.5		1 : 0.8	1 : 0.5
		0~5m				1 : 0.5	

국내 건설교통부 비탈면 지하수위 기준은 토사 또는 풍화암층의 경우 건기시에는 지하수위를 고려하지 않고, 우기시에는 지표면까지 지하수위가 포화된 것으로 보고 비탈면의 안정성 평가를 실시하며, 건설교통부 산하 도로공사와 토지공사는 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.

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
도로설계 편람 (토공 및 배수편)	건교부 (2000)	암반	인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음	인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 $H_w=0.5H$ 로 가정하여 적용
		토층/풍화암	지하수위 미고려	지하수위 고려
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

비탈면의 설계기준을 근거로 하고, 현재 일반적으로 사용되는 지반물성치를 적용하여 안정해석을 실

시하였다. 본 해석에 사용된 강우시 비탈면의 안정성 검토 기준은 한국도로공사의 도로설계요령으로 검토하였으며 안전율은 건기시 $F_s \geq 1.5$, 우기시 $F_s \geq 1.2$ 를 기준으로 안정성을 검토하였다. 비탈면 높이는 5m, 10m, 15m에 우기시(지하수위 지표면 위치)일 경우에 대하여 각 토질 지반정수별 해석을 실시하였다. 다음은 해석 단면(표 3) 및 해석 결과(표 4, 그림 2)이다.

표 3. 해석 단면

비탈면높이	해석 단면	모델링 단면	비탈면높이	해석 단면	모델링 단면
H=5m			H=15m (혼합사면)		
H=10m					
H=15m			H=30m (혼합사면)		
H=15m					

표 4. 10m 비탈면에 대한 자연지반의 토질종류별 설계정수에 따른 안전율 변화

No.	구 분		γ	c	ϕ	우기시	건기시	분류기호 (통일분류)
1	자갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것	2.0	0.0	40	0.35	1.26	GW, GP
2		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것	1.8	0.0	35	0.21	1.05	
3	자갈섞인	밀실한 것	2.1	0.0	40	0.40	1.26	GW, GP
4	모래	밀실치 않은 것	1.9	0.0	35	0.25	1.05	
5	모래	밀실한 것, 입도가 좋은 것	2.0	0.0	35	0.29	1.05	SW, SP
6		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것	1.8	0.0	30	0.17	0.87	
7	사 질 토	밀실한 것	1.9	3.0	30	1.68	2.59	SM, SC
8			1.9	1.5	30	1.11	1.91	
9		밀실치 않은 것	1.7	0.0	25	0.11	0.70	
10	점 성 토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 들어감)	1.8	5.0	25	2.33	3.17	ML, CL
11			1.8	2.5	25	1.39	2.18	
12		약간무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)	1.7	3.0	20	1.51	2.19	
13		무른 것(손가락이 쉽게 들어감)	1.7	2.0	20	1.11	1.78	
14	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 들어감)	1.7	1.5	20	0.91	1.54	CH, MH, ML
15			1.7	0.8	20	0.62	1.18	
16		1.7	5.0	20	2.28	3.01		
17		1.7	2.5	20	1.32	1.99		
18		약간무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감)	1.6	3.0	15	1.45	2.01	
19		1.6	1.5	15	0.84	1.36		
20	무른 것(손가락이 쉽게 들어감)	1.4	1.5	10	0.79	1.21		
21		1.4	0.8	10	0.47	0.86		

해석결과 우기시 및 건기시 설계소요안전율을 확보하지 못하는 경우가 많이 나타났다. 이러한 문제점은 각 기관에서 권고하고 있는 비탈면 기울기, 지반강도정수 등을 적용한 표준단면조건으로 비탈면 안정해석은 실시한 결과이므로 모두 안정된 결과를 나타내어야함에도 불구하고, 불안정한 결과를 나타내었다. 표준 비탈면이 불안정한 상태를 보인다는 것은 국내 각 기관에서 권고하고 있는 지하수위 조건이 과다하거나 비탈면 안정해석에 문제가 있음을 보여주는 것이다.

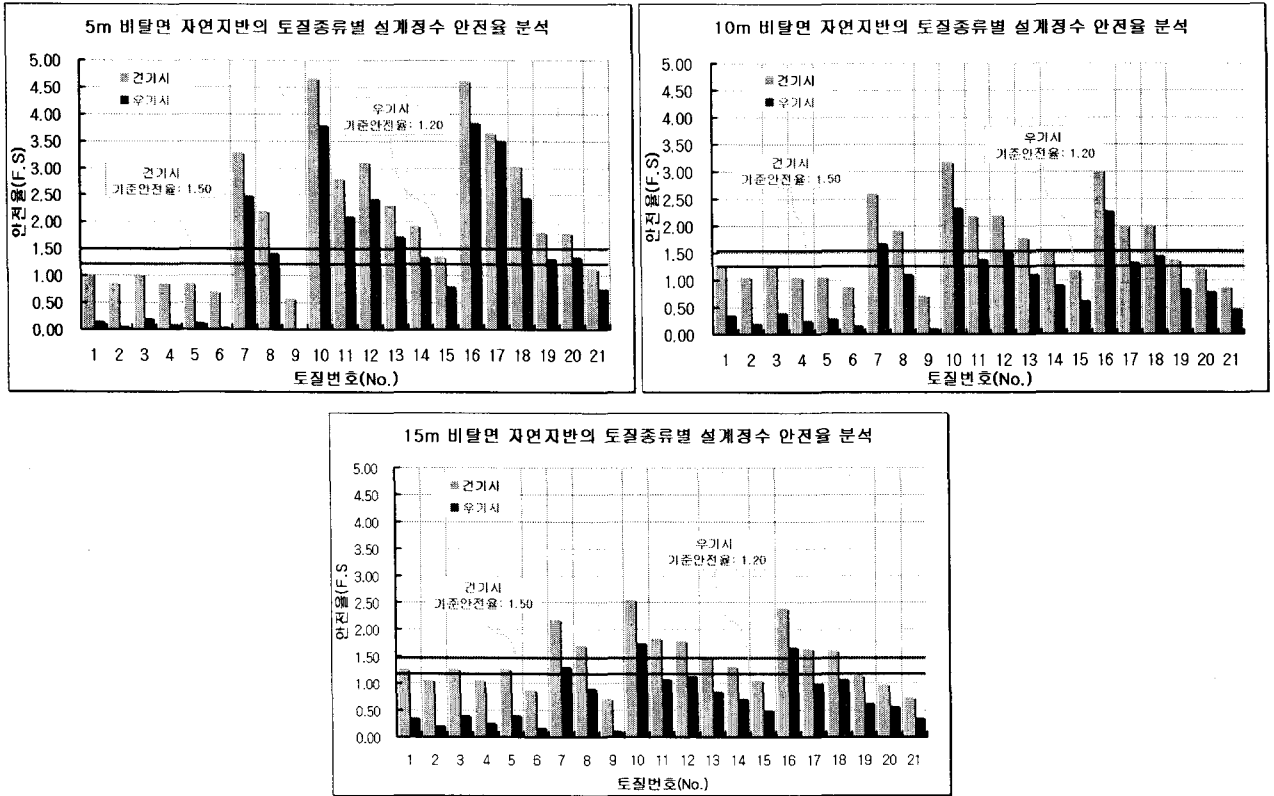


그림 2. 비탈면 조건별 안전율 변화

다음은 토사, 리핑암, 발파암이 혼합적으로 분포하고 있는 15m와 30m 비탈면에 대해 리핑암의 표준구배 및 지하수위 기준에 만족하기 위한 지반 물성치를 변화하여 분석하였다. 토사의 지반정수는 일반적으로 사용하는 단위중량 $1.9t/m^3$, 점착력 $1.5t/m^2$, 내부마찰각 30° 를 사용하였으며 리핑암의 단위중량을 $2.0t/m^3$ 을 기준으로 하였다(그림 3 참조).

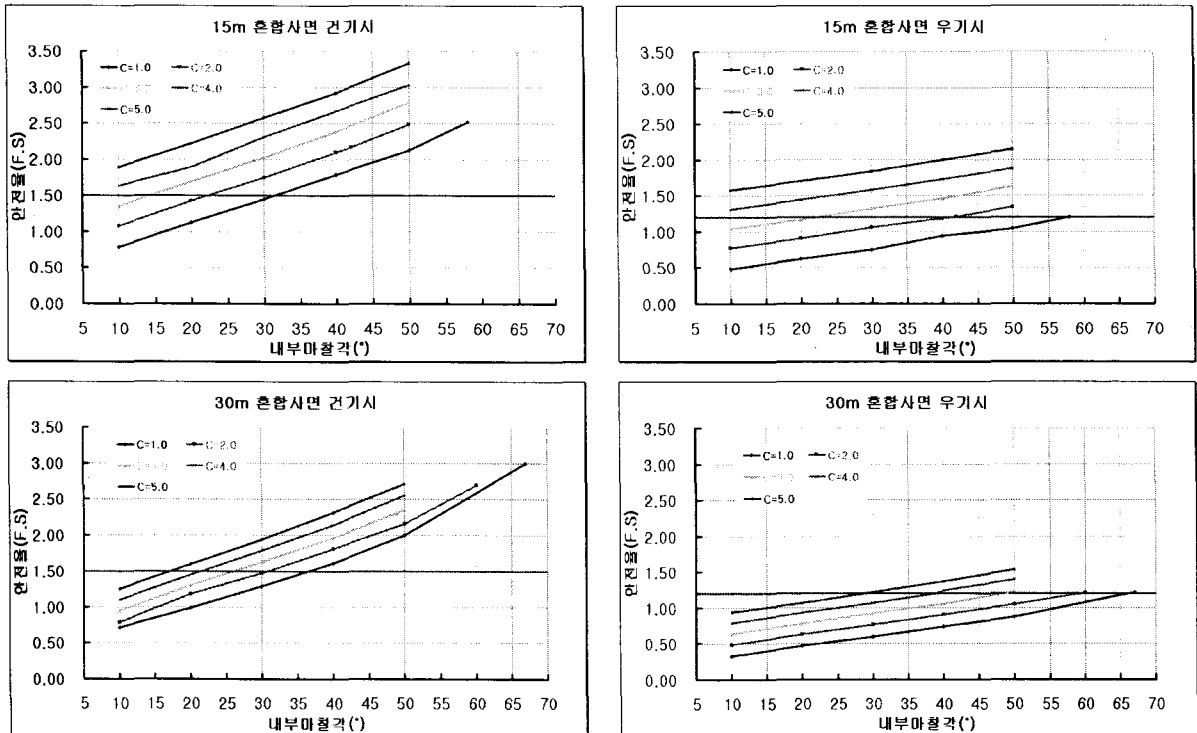


그림 3. 기준안전율을 만족하는 리핑암(풍화암)의 지반정수

3. 비탈면 배수분야 문제점

비탈면 배수는 표면배수와 지하배수로 구분할 수 있으며, 표면배수는 산마루측구, 종배수구 및 소단배수구가 있다. 실제로 강우에 의한 비탈면 붕괴는 사면에 시공된 배수공법의 배수능력에 따라 안정성이 크게 달라질 수 있다. 현재의 설계기준으로는 지표면까지 포화하는 것으로 가정하여 설계하는 것이므로 배수체계를 시공하지 않아도 안정해야 하지만, 실제로 잘못된 배수시공은 사면안정성에 오히려 위해를 가하는 경우도 발생하고 있다.

특히 최근의 강우형태는 시간당 100mm 이상의 집중호우 형태를 띠고 있어, 비탈면에서의 원활한 배수는 비탈면 안정확보를 위해 무엇보다 중요한 사항이라 할 수 있다(표 5,6).

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

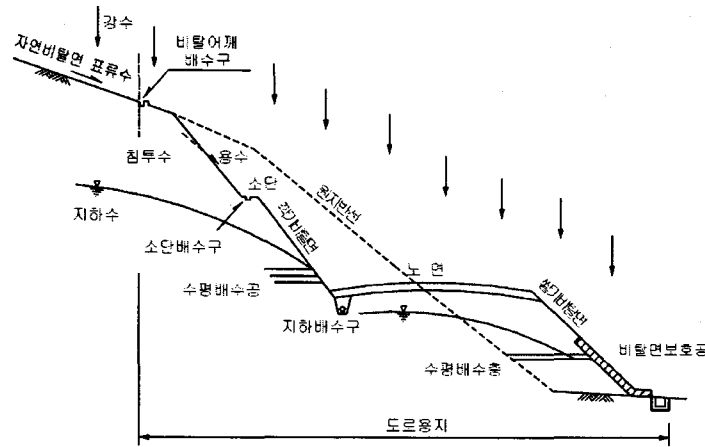


그림 4. 비탈면 배수시설(건교부, 2003)

표 6. 비탈면배수의 종류 및 기능

구분	목적	배수공의 종류	기능
표면배수	노면, 인접지, 비탈면의 배수	산마루측구	비탈면의 표면수 유하를 차단
		종배수구	비탈면의 빗물을 종배수구로 유도
		소단배수구	산마루측구, 소단 배수구의 물을 비탈끝으로 유도
지하배수	비탈면으로의 침투수, 지하수의 배수	지하배수구	비탈면으로의 지하수, 침투수를 배제
		돌망태공	지하배수구와 병용하여 비탈끝을 보강
		수평배수공	용수를 비탈면 밖으로 배제
		수직배수공	비탈면 내의 침투수를 집수정에서 배제
		수평배수층	흙쌓기내 또는 자연지반으로부터 흙쌓기로의 침투수를 배제

* "도로배수시설 설계 및 유지관리지침"(2003.12 건교부)

비탈면 배수공법과 관련하여 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 흘러내려온 지표수가 적절히 배수되지 못하고, 오히려 지표수를 지중으로 유도하게 되어 사면안정성을 저하시키는 경우가 발생하고 있다(그림 5).

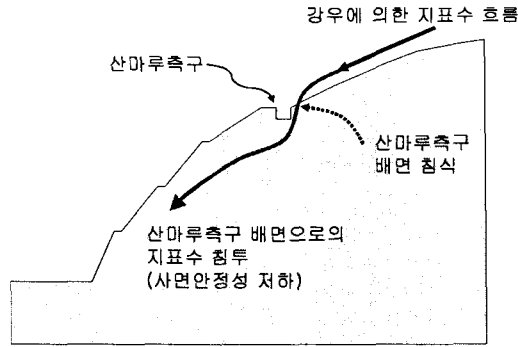


그림 5. 산마루측구 기능저하에 의한 배면으로의 우수침투 개념도

또한, 침식이 과도하게 발생할 경우 산마루측구 배면 지반의 파괴로 인해 시공되어 있는 산마루측구의 파괴로 이어지기도 한다. 그림 6,7은 현장에서 산마루측구의 배수상태가 원활하지 못하여 발생한 지반붕괴사진이다.



그림 6. 산마루측구와 배면지반 사이의 침식



그림 7. 과도한 침식에 의한 산마루측구 붕괴

산마루측구의 배수성능에 따른 사면안정성을 검토하기 위하여 다음 그림과 같이 강우에 의한 침투해석과 사면안정성 해석을 수행하였다. 산마루측구가 설치되지 않았을 경우, 설치되었을 경우, 설치되었으나 배면 침식으로 인해 지표수가 산마루측구로 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.

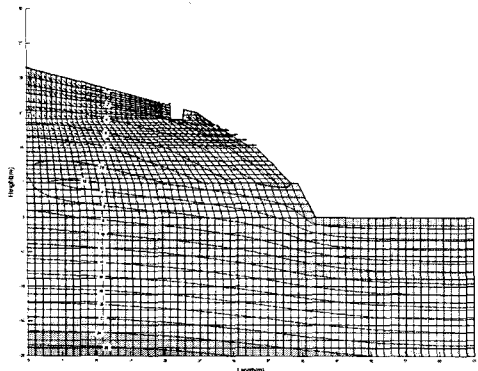


그림 8. 강우에 의한 침투해석 결과 예

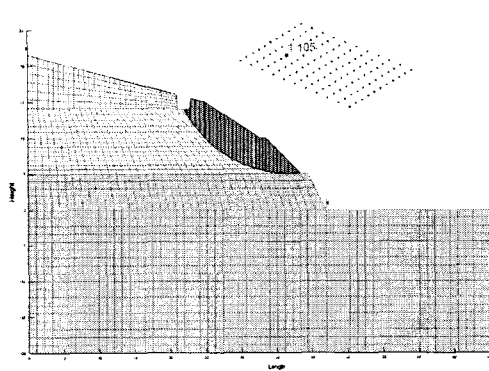


그림 9. 사면안정성 검토결과 예

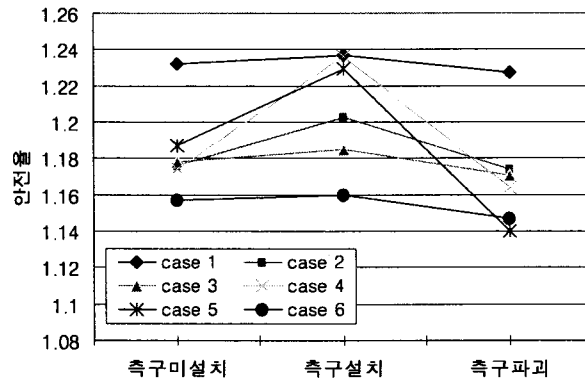


그림 10. 산마루축구 설치 및 배수조건에 따른 사면안정성 변화

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

또한 수평배수공의 경우는 절토비탈면에 직접 다수의 천공을 통해 배수시설을 설치하는 공법으로 비탈면이 넓은 구간의 지하수 유도에 편리하나 건기에 시공시 용수 위치와 무관하게 시공하는 경우 불필요한 시공이 될 수 있고 실제 필요한 장소에 설치가 되지 않아 배수 효과가 저하되는 경우가 발생하고 있다. 특히 여러공의 수평배수공 끝부분의 용수를 한 곳으로 유도하여 처리하여야 하나 처리가 미흡하여 끝부분에서 비탈면으로 용수가 떨어져 비탈면이 유실되는 원인이 되고 있다고 보고되고 있다.

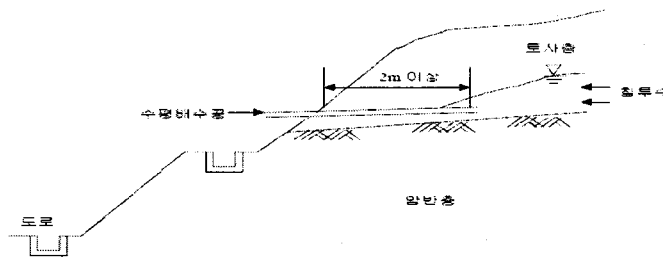


그림 8. 수평배수공 개념도

특히, 비탈면 배수와 관련한 도로설계기준(2005. 12, 건설교통부)에 의하면 산마루축구 및 도수로 설계의 기준이 되는 설계발생빈도는 10년으로 규정되어 있어, 최근의 집중호우형태의 강우로부터 비탈면의 안정을 확보하기에는 문제점이 있다고 할 수 있다.

4. 맺음말

본 연구에서는 최근 개발되고 있는 지반보강기술에 비하여 상대적으로 관심이 떨어진 설계기준 및 배수부분에 대하여 해석적으로 검토함으로써, 비탈면의 안정성을 확보하기 위해서는 비탈면 안정확보기술이 어느 한 부분으로만 치우치지 말고 전반적으로 발전해야 함을 시사한다. 특히 최근의 빈번한 집중강우등으로 인해 비탈면 설계 및 유지관리기준의 전반적인 검토가 필요하며, 설계기준상의 문제로 지적되는 부분은 충분한 검토를 통하여 개선해 나아가야 할 것이다. 본 연구에서 지적한 바와 같이 비탈면의 여러 분야에서의 관심과 기술개발로 국내의 비탈면으로 인한 재해가 사라지기를 기대한다.

5. 감사의 글

본 논문작성에 도움을 주신 건설교통부 원주지방국토관리청 낙석방지 및 사면보강연구회 관계자 여러분께 감사드립니다.

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 표준구배 및 지하수위 기준에 관한 해석적 고찰, 한국지반환경공학회 학술발표회, pp.369-378.
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.