



비탈면 표준구배에 관한 해석적 고찰



상지대학교
건설시스템공학과 교수
황영철

1. 서론

비탈면설계를 위한 시방기준은 각 기관마다 조금씩 차이는 있으나, 대부분 표준 절취구배를 제시하고 있으며, 표준절취구배는 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하고 암반비탈면은 다시 암반의 굴착난이도에 따라 리핑암과 발파암으로 구분하여 제시하고 있다. 또한 안전율의 기준 값은 건기시와 우기시로 구분하고 있으며, 우기시의 설계를 위한 지하수 조건은 토사비탈면일 경우 비탈면의 지표면까지 완전히 포화된 것으로 가정하여 설계하도록 하고 있다.

이러한 기준에 따라 비탈면의 설계가 이루어지고 있으며, 일반적으로 도로의 신설에 따라 발생하는 비탈면 중 규모가 큰 비탈면에 대하여 안정해석을 실시하고 필요시 안정확보를 위한 보강대책을 수립하며, 안정해석을 실시하지 않은 비교적 규모가 작은 비탈면은 표준구배를 적용하고 있는 실정이다.

그러나, 우기시의 지하수위 조건인 지표면까지를 포화시킬 경우는 시방서에서 제시한 표준구배를 적용한 비탈면인 경우에도 기준안전율을 확보하지 못하는 것으로 나타나, 제시된 표준구배 혹은 우기시의 지하수위 조건이 서로 부합하지 않는 것으로 평가되었다.

본 연구에서는 국내에서 적용되고 있는 비탈면 관련 시방기준을 조사하고, 표준구배와 우기시 지하수위 조건에 대해 범용 해석프로그램을 이용하여 검토·분석함으로써 현 비탈면 설계기준에 대한 문제점 및 개선방향을 제시하고자 하였다.

기술기사

표 1. 국내 기관별 비탈면 표준구배 기준

토질조건		깎기 높이	건설교통부	도로공사	토지공사	주택공사	고속철도	
토 새사질토, 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 : 0.5	1 : 0.8	1 : 0.5
		0~5m					1 : 0.5	

표 2. 국내 각 기관별 지하수위 적용기준

기관	구분	조건	적용 기준	
			건기	우기
도로공사 (2002)	도로설계요령 (토공 및 배수)	임반	인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음	인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 Hw=0.5H로 가정하여 적용
		토층/풍화암	지하수위 미고려	지하수위는 지표면에 위치
건교부 (2000)	도로설계편람 (토공 및 배수편)	임반	인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음	인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 Hw=0.5H로 가정하여 적용
		토층/풍화암	지하수위 미고려	지하수위 고려
건교부 (2004)	국도건설 공사설계 실무요령	임반	인장균열면이나 활동면을 따라 수압이 작용되지 않음	인장균열면이나 활동면을 따라 작용되는 수압을 Hw=0.5H로 가정하여 적용
		토층/풍화암	지하수위 미고려	지하수위는 지표면에 위치
토지공사	Koland 설계기법 연구보고서	-	건기시 시추공의 수위적용	지하수위는 GL(-) 3.0m적용하고, 강우에 의한 표면파괴해석

2. 국내 비탈면 설계 기준

비탈면의 안정성 여부는 공사비와 공사기한은 물론, 시설물이나 인명의 안전에도 중대한 영향을 끼치게 되므로 비탈면의 안정성을 사전에 검토하고 시설물의 안전을 유지하기 위해 합리적인 비탈면 경사기준의 설정이 절실히 요구되고 있다. 현재 국내 여러 기관에서 제시하고 있는 비탈면 경사기준, 소단 적용기준, 건기 및 우기시 지하수위 적용기준 등을 조사하였다.

2.1 흙깎기 비탈면 표준기울기

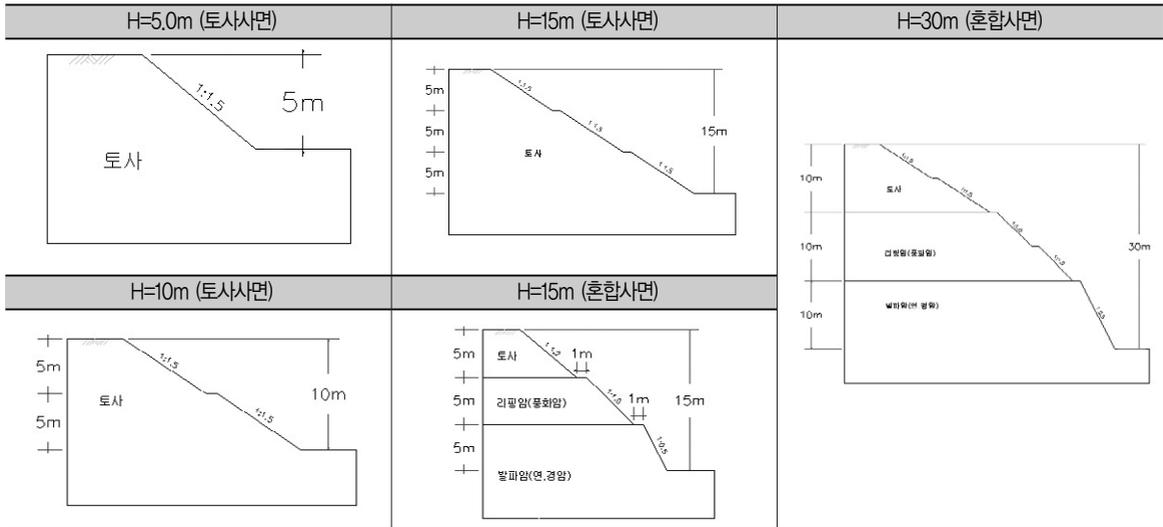
깎기 비탈면은 쌓기 비탈면에 비하여 안정해석시 토질

의 불균질성, 토질구성상태, 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.

2.2 국내 비탈면 지하수위 적용기준

건설교통부에서는 토사 또는 풍화암층의 경우 건기시에는 지하수위를 고려하지 않고, 우기시에는 지표면까지 지하수위가 포화된 것으로 보고 비탈면의 안정성 평가를

표 3. 비탈면 높이별 검토 단면



실시하며, 건설교통부 산하 도로공사와 토지공사는 우기 시 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.

가 지표면까지 완전히 포화된 것으로 가정하여 검토하였으며, 지반 물성치는 토사를 기준으로 한국도로공사의 도로설계요령의 자연지반의 토질종류별 설계정수에 따라 각 토질종류별 정수를 사용하여 해석을 실시하였다(표 4참조). 이에 따라, 비탈면의 종류는 총 5가지 경우에 대하여 검토하고, 지반조건은 총 21가지 조건에 대하여 검토하였다. 안정성검토는 일반적으로 사용하는 사면안정해석프로그램인 TARLEN97 프로그램을 이용하였다.

3. 표준설계기준 비탈면 안정성 분석

3.1 검토 개요

본 연구에서는 깎기 비탈면에 대하여 표준기울기를 적용하여 비탈면 안정성을 평가하였다. 검토단면은 일반적으로 토사비탈면에 적용되는 표준기울기 1:1.5를 적용시키고, 5.0m마다 1.0m의 소단을 고려하였다. 검토에 사용된 단면은 토사사면의 경우 높이를 각각 5m, 10m, 15m로 하고, 하부에 암반사면이 있는 경우는 높이를 15m와 30m로 구분하여 검토하였다(표 3참조). 강우시 조건은 지하수위

3.2 표준단면 검토 결과

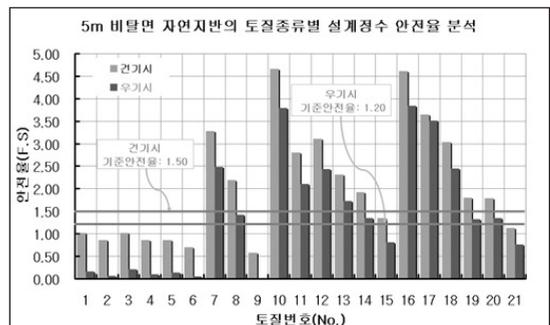


그림 1. 5m 비탈면 자연지반의 토질종류별 안전율 변화

기술기사

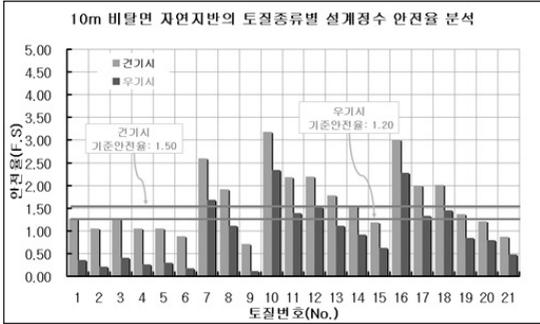


그림 2. 10m 비탈면 자연지반의 토질종류별 안전율 변화

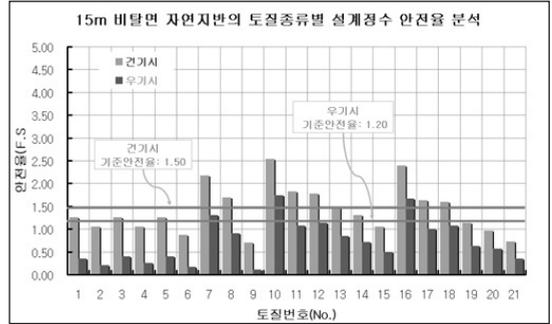


그림 3. 15m 비탈면 자연지반의 토질종류별 안전율 변화

본 해석에 사용된 비탈면의 안정성 검토시 안전율 기준 값은 건기시 $F_s \geq 1.5$, 우기시 $F_s \geq 1.2$ 를 기준으로 하였다. 토사사면에 대한 각 높이별 안정성 검토결과 높이 5m의 비탈면의 경우는, 총 21가지의 경우 중 건기시 8개 조건, 우기시 9개 조건에서 기준안전율을 만족하지 못하는 것

로 나타났다. 이는 전체 조건 중 건기시 38%, 우기시 43%가 위험한 상태인 것으로 검토되었다(그림 1 참조).

높이 10m의 토사사면인 경우도, 각각 건기시 11개 경우(52%), 우기시 14개 경우(67%)에 대하여 안정성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었으며, 높이 15m 사면의

표 4. 토사사면에 대한 표준구배 안정성 검토결과

No.	구분		γ	c	ϕ	H=5m		H=10m		H=15m		분류기호 (통일분류)
						우기	건기	우기	건기	우기	건기	
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	굳은 것(손가락으로)	1.8	5.0	25	3.79	4.66	2.33	3.17	1.74	2.54	ML, CL
11		강하게 눌러 들어감)	1.8	2.5	25	2.10	2.80	1.39	2.18	1.08	1.82	
12		약간무른 것(손가락)	1.7	3.0	20	2.43	3.10	1.51	2.19	1.13	1.78	
13		중간정도의 힘으로 들어감)	1.7	2.0	20	1.72	2.31	1.11	1.78	0.85	1.47	
14		무른 것(손가락이 쉽게 들어감)	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)	1.7	5.0	20	3.84	4.61	2.28	3.01	1.67	2.39	CH, MH, ML
17		강하게 눌러 들어감)	1.7	2.5	20	3.51	3.64	1.32	1.99	1.00	1.63	
18		약간무른 것(손가락)	1.6	3.0	15	2.44	3.03	1.45	2.01	1.07	1.60	
19		중간정도의 힘으로 들어감)	1.6	1.5	15	1.32	1.80	0.84	1.36	0.63	1.13	
20		무른것	1.4	1.5	10	1.35	1.79	0.79	1.21	0.57	0.97	
21		(손가락이 쉽게 들어감)	1.4	0.8	10	0.76	1.12	0.47	0.86	0.35	0.72	

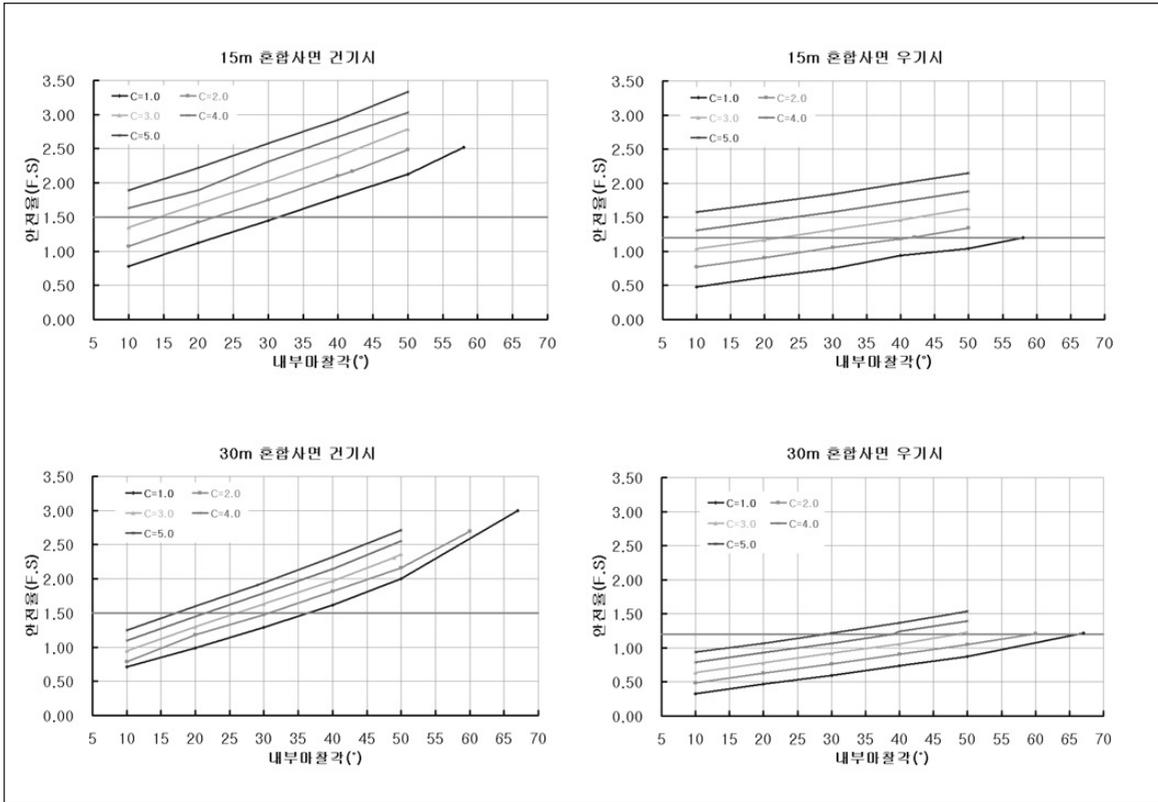


그림 4. 기준안전율을 만족하는 리핑암(풍화암)의 지반정수

경우도 건기시 13개 경우(62%), 우기시 18개 경우(86%)가 소요안전율을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다(그림 2,3 참조).

검토결과 사면의 높이가 높아질수록 표준구배에 대한 안정성이 떨어지는 것으로 나타났으며, 가상 단면 중 15m 높이의 토사사면인 경우는 우기시 총 21개의 지반조건 중 단지 3가지 경우만이 소요 안전율을 확보하고 나머지 지반조건에서는 모두 안정성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다.

비탈면의 표준구배는 각각의 불리한 조건에서도 소요 안전율을 만족하여야 하나, 각 기관에서 권고하고 있는 비탈면 기울기, 지반강도정수 등을 적용한 표준단면조건

으로 비탈면 안정해석을 실시한 결과, 안정성을 확보하지 못하는 경우가 많은 것으로 나타났다. 표준 구배조건인 비탈면이 불안정한 상태를 보인다는 것은 국내 각 기관에서 권고하고 있는 지하수위 조건이나 비탈면 안정해석방법 또는 표준구배에 문제가 있음을 시사하는 것이라 할 수 있다.

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 1.9 tf/m^3 , 점착력 1.5 tf/m^2 , 내부마찰각 30° 를 사용하였으며 리핑암의 단위중량을 2.0 tf/m^3 을 기준으로

기술기사

하여 안전율에 가장 크게 영향을 미치는 점착력(c , tf/m^2)과 내부마찰각(ϕ , $^\circ$)의 변화에 따른 안전율 변화를 분석하였다(그림 4. 참조).

검토결과 소요안전율을 만족하기 위한 리핑암의 물성치는 높이 30m사면을 기준으로 할 경우 우기시 일때 정도, $c=3.0\text{ tf/m}^2$ 일때 $\phi=47^\circ$ 정도, $c=5.0\text{ tf/m}^2$ 일때 $\phi=28^\circ$ 정도의 값을 가져야 소요 안전율을 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 값은 설계시 일반적으로 사용하는 값을 상회하는 큰 값으로 판단되며, 사면안정검토를 위해 사용되는 리핑암의 지반물성치와는 다소 차이를 보여, 경제적인 안정성대책수립에 문제점을 나타내고 있다고 판단된다.

하수위기준에 대하여 범용 프로그램을 이용하여 지반물성별 안정해석을 실시하였다.

현행 사면 설계시 안정성분석을 실시하는 대절토 사면의 경우, 별 문제가 없을 수 있으나, 중소규모의 토사사면은 대체적으로 독립적인 안정성 분석을 실시하지 않고 표준구배를 적용하게 된다. 이 경우, 강우에 따른 취약한 조건일 경우에도 사면안정성이 확보되어야 하나, 많은 경우 소요안전율을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다.

이러한 것은 현행 표준구배와 관련된 설계기준이나, 설계방법, 강우조건 등이 상호 만족할만한 조건을 가지고 있지 못한 경우이므로, 사면의 안정성확보를 위하여 제반 기준들이 재검토되어야 할 필요가 있다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 비탈면 설계기준인 국내 표준구배 및 지

[참고문헌]

- 강행언 (1982), [일반기사]도로비탈면 구배에 관한 고찰, 대한토목학회지, Vol.30 No.1 pp.42~46
- 건설교통부 (2001) 도로설계기준 5장 토공
- 건설교통부 (2004) 철도설계기준 노반편
- 이관영(2004), 강우특성을 고려한 불포화토 사면의 안정성 해석, 대전대학교, 석사학위 논문
- 지반조사편람(1996. 3), 서울특별시
- 정관식, 이강운, 채영수, 이길재 (2005), 풍화심도에 따른 흙막이 비탈면의 표준경사 기준 고찰, 2004 대한토목학회 학술발표회, pp.2512~2518
- 한국시설안전기술공단 (2004) 건설공사 비탈면 설계·시공 및 유지관리에 관한 1차년도 연구보고서
- 한국도로공사 (1992) 도로설계요령 제2권 토공 및 배수 5장 토공