

국내 절토 비탈면 설계기준의 해석적 평가

Analytical Evaluation on Design Criteria for Cut Slopes

황영철[†] · 이홍성¹⁾

Hwang, Young-Cheol · Lee, Hong-Sung

ABSTRACT : In the design of slopes during rainfall, the groundwater level is assumed to be located at the ground surface, based on the change in characteristics of rainfall. In addition, stability investigations are performed for large cut slopes in the design of slopes while standard inclinations specified in the design criteria are applied for the slopes that stability investigations are not performed. In spite of the strengthened criteria of groundwater location, slope failures continuously occur during heavy rainfall, regardless of magnitude of slopes. In order to investigate the cause of the failures, stability investigations have been performed on standard inclination of slopes suggested in the design criteria for both dry and rainfall cases by ground condition in this research. Despite that standard inclination of slopes specified in the design criteria should be stable for both dry and rainfall cases, the results show that standard factor of safety has not been obtained in many cases; more than 50% of total cases for dry cases and more than 65% of total cases for rainfall case. Based on the results, this paper indicates the problems in the current design criteria and proposes the plans for establishment of countermeasure.

Keywords : Design criteria for cut slope, Groundwater, Slope failure, Standard inclinations of cut slope

요 지 : 강우시의 비탈면 설계에서는 강우특성변화에 따라 지하수위가 지표면에 위치하는 것으로 가정한다. 또한, 안정성 검토는 비탈면 설계시 대절토 비탈면을 대상으로 수행하는 반면, 안정성 검토가 수행되지 않는 비탈면에 대해서는 설계기준에 규정된 표준경사가 적용된다. 강화된 지하수위 적용기준에도 불구하고 강우시 비탈면의 규모와 관계없이 비탈면 붕괴가 지속적으로 발생되고 있다. 붕괴원인을 조사하기 위하여 본 연구에서는 지반 조건별로 건기시와 우기시에 대하여 국내 시방기준에서 제안하고 있는 토사 비탈면의 표준경사에 대하여 안정성을 검토하였다. 시방기준에서 제시된 비탈면 표준경사는 건기시나 우기시 모두 안정해야 함에도 불구하고, 검토 결과는 많은 경우에서 기준 안전율이 얻어지지 않는 것으로 나타났다. 건기시의 경우는 전체 검토대상 조건에 대하여 약 50% 이상, 우기시의 경우 약 65% 이상이 기준 안전율을 만족하지 못하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 논문은 현 설계기준의 문제점을 지적하고 대책수립을 위한 방안을 제안하고 있다.

주요어 : 비탈면설계기준, 지하수, 비탈면파괴, 절토비탈면 표준경사

1. 서 론

국내 비탈면설계를 위한 시방기준은 각 기관마다 조금씩 차이는 있으나, 대부분 표준 절취경사를 제시하고 있으며, 표준 절취경사는 토사비탈면과 암반비탈면으로 각각 구분하여 제시하고 있다. 또한 안전율의 기준값은 건기시와 우기시로 구분하고 있으며, 우기시의 설계를 위한 지하수 조건은 일반적인 토사 비탈면일 경우 비탈면의 지표면까지 완전히 포화된 것으로 가정하여 설계하도록 하고 있다(건설교통부, 2001, 2004, 한국도로공사, 2002).

국내의 경우 일반적으로 도로설계시 발생하는 비탈면 중 규모가 큰 비탈면에 대하여 안정해석을 실시하고 필요시 안정확보를 위한 보강대책을 수립하며, 비교적 규모가

작은 비탈면은 별도의 안정해석을 실시하지 않고 시방기준에 의한 표준경사를 적용하고 있다.

그러나, 최근의 비탈면 붕괴빈도는 집중호우시에 가장 높게 나타나고 있으며, 붕괴지역도 토사비탈면 지역이 주를 이루고 있다. 이러한 결과는 산마루측구와 같은 배수시설의 문제일 수도 있으나, 실제 설계기준의 문제점에 기인한 것도 원인이 될 수 있다(황영철, 2004). 따라서, 본 연구에서는 설계기준이나 안정성 검토조건으로는 강우시 안정성을 확보해야 함에도 불구하고 이러한 붕괴가 지속적으로 발생하고 있는 원인을 파악하기 위하여 현행 절토 비탈면 설계기준에 대한 해석적 검토를 수행하고 그 문제점을 제시하고자 하였다.

† 정회원, 상지대학교 건설시스템공학과 조교수, 공학박사(E-mail : ychwang@sangji.ac.kr)

1) 정회원, 현대건설 기술연구소 선임연구원, 공학박사

2. 최근의 비탈면 붕괴 유형

최근 한국시설안전기술공단에서는 2002년 태풍 루사 및 2003년 태풍 매미에 의한 주 피해지역인 강원도와 경상남북도 지역에서 발생한 196개소의 절토비탈면 붕괴사고를 조사하여 붕괴특성을 파악하고자 하였다(장범수, 2004). 이 자료에 의하면, 집중호우시 발생한 비탈면 붕괴는 주로 토사비탈면이나 흙과 암반이 함께 구성되어 있는 혼합비탈면에서 원호파괴 형태로 발생한 것으로 나타났다. 붕괴 대상지역으로 구분할 경우 토사 및 혼합비탈면에서 전체 붕괴의 약 72% 정도가 발생하였고, 붕괴형태로 구분할 경우 주로 원호파괴 형태에 의한 것이 약 70% 정도로 가장 많은 부분을 차지하였다. 이로부터 강우시 붕괴는 주로 풍화암층 혹은 토사층에서 표층유실이나 원호파괴 형태의 토사형 붕괴가 주를 이루는 것을 알 수 있다(표 1, 그림 1 참조).

또한, 2005년도 소방방재청 재난연보 조사자료에 의한 월별 낙석 및 산사태 재난발생현황에 따르면, 총 46건의 발생재난 중 7월부터 9월 사이에 32건이 발생하여 전체 붕괴의 70%가 발생한 것으로 보고되었다(그림 2 참조). 특히 붕괴는 강우가 집중되는 8월과 9월에 집중적으로 발생한 것으로 조사되었다.

조사된 자료로부터 최근의 국내 비탈면 붕괴특성은 주로 강우시 발생하고, 붕괴지역은 토사지역이나 토사와 암반이 풍화되어 혼합된 지역에서 주로 발생하고 있다.

표 1. 집중호우시 붕괴비탈면 및 붕괴유형 현황

붕괴비탈면유형	개수	비율	붕괴유형	개수	비율
토사비탈면	64	33%	원호파괴	133	68%
혼합비탈면	77	39%	표층유실	23	12%
암반비탈면	34	17%	낙석/평면/썰기파괴	15	8%
기타(계곡부)	21	11%	토석류	25	12%
계	196	100%	계	196	100%

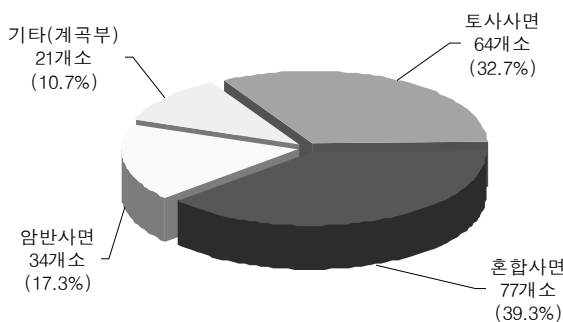


그림 1. 집중호우시 절토비탈면 붕괴유형 분석

3. 국내 절토비탈면 설계 기준

절토비탈면의 설계는 지반조건 및 외적인 환경요인을 고려하여 설계하도록 하고 있으며, 각 기관별로 발파암, 리핑암, 토사와 같은 굴착방법별로 구분된 지반조건에 따라 표준경사를 제시하고 있다. 또한 설계시 안정성 검토조건으로 건기시와 우기시의 설계소요안전율이 제안되어 있으며, 우기시의 안정성 검토조건은 주로 지하수의 위치를 기준으로 검토하도록 하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 제시된 우기시 지하수위 기준을 적용하여 비탈면 표준경사의 안정성을 검토하기 위하여 국내 각 기관별로 제시하고 있는 표준경사 기준과 우기시 지하수위 적용기준을 조사하였다.

3.1 흙깎기 비탈면 표준경사

깎기 비탈면과 관련된 표준경사는 건설교통부 도로설계기준(2001) 및 건설교통부 산하 한국도로공사(2002), 한국토지공사(2006), 대한주택공사(2006), 고속철도 등에서 각 기관별 자체 시방기준을 보유하고 있다(표 2 참조). 깎기 비탈면의 표준경사는 지반조건을 굴착방법에 따라 토사, 리핑암 및 발파암 등으로 구분하고 있으며 깎기 비탈면의 높이에 따라 토사의 경우 1:1.2~1:1.5(V:H), 리핑암의 경

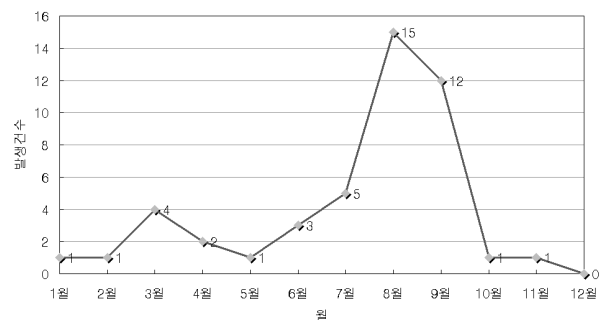


그림 2. 월별 낙석 및 산사태 재난 발생현황(소방방재청, 2005)

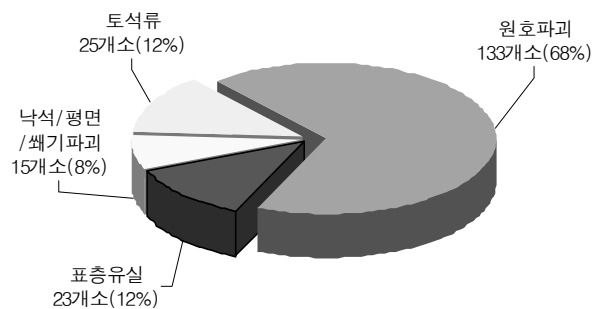


표 2. 국내 기관별 흙막기 비탈면 표준경사 기준

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			
리 평 압 (풍화암)		5m 이상	1:1.0~1:1.2	1:1.0~1:1.2	1:1.0	1:1.5	1:1.0	
		0~5m				1:1.2		
발파암	연 압	5m 이상	1:0.5~1:0.7	1:0.7~1:1.0	1:0.5	5m 이상	1:0.7	
		0~5m				1:1.0		
	경 압	5m 이상		1:0.5		0~5m		1:0.5
		0~5m				1:0.8		

우 1:1.0~1:1.5, 그리고 발파암의 경우는 1:0.5~1:1.0으로 시공하도록 규정하고 있다. 깎기 비탈면 표준경사 중 암반 비탈면의 경우는 최근 빈번한 붕괴발생으로 그 경사가 점차 완화되고 있는 실정이다.

3.2 국내 비탈면 설계시 지하수위 적용기준

일반적으로 국내 시방기준에 의하면 비탈면의 설계는 건기시와 우기시로 구분되어 있으며, 건기시의 안정성 검토기준은 대부분 지하수위를 고려하지 않거나 수압이 작용하지 않는 것으로 가정하여 검토하도록 하고 있다. 또한 우기시는 암반의 경우 인장균열면을 따라 수압이 작용하고 토사의 경우는 지하수위를 고려하되 지하수위가 GL.-3.0m 혹은 지표면에 위치하는 것으로 가정하여 검토하도록 규정되어 있다. 금번에 개정된 건설교통부 국도건설공사 설계실무요령(2003)에 의하면 기존의 건설교통부 도로설계편람(2000)에 의한 우기시 지하수위 적용기준을 보다 강화하여 사용하도록 개정되었다(표 3 참조). 또한 다른 기관에서도 최근 우기시 지하수위에 대한 기준을 강화하고 있는 추세이다.

4. 표준비탈면에 대한 안정성 분석

4.1 안정성 검토방법

본 연구에서는 깎기 비탈면에 대하여 표준경사를 적용하여 비탈면 안정성을 평가하였다. 깎기 비탈면의 표준경사는 토사층의 경우 높이 5.0m 이하의 비탈면에서는 표준경사가 1:1.2(V:H)로 제시되어 있고, 높이 5.0m 이상의 토사비탈면에서는 1:1.5의 경사를 표준으로 하고 있다. 최근의 강우에 의한 비탈면붕괴의 70% 이상이 주로 토사 및 토사가 혼합된 지반에서 발생되고 있으므로 본 연구에서도 주로 토사비탈면을 대상으로 건기시와 우기시 표준비탈면에 대한 안정성을 검토하고자 하였다.

검토를 위한 표준비탈면은 토사비탈면의 경우 높이를 각각 5m, 10m, 15m로 하고, 하부에 암반비탈면이 있는 경우는 높이를 15m와 30m로 구분하여 검토하였다(표 4 참조). 강우시 조건은 최근의 건설교통부 설계시방기준을 고려하여 지하수가 지표면까지 완전히 포화된 것으로 가정하여 검토하였다. 비탈면의 안정성은 지반물성치에 따라 매우 다르게 되므로 한국도로공사의 도로설계요령(1992)에서 제시하고 있는 자연지반의 토질종류별 설계정수를

표 3. 국내 각 기관별 지하수위 적용기준

기 관	구 분	조 건	적 용 기 준	
			건 기	우 기
도로 공사 (2002)	도로설계요령 (토공 및 배수)	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
건교부 (2000)	도로설계편람 (토공 및 배수편)	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
건교부 (2003)	국도건설 공사설계 실무요령	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
토지 공사	Koland 설계기법 연구보고서	-	건기시 시추공의 수위적용	지하수위는 GL(-) 3.0m 적용하고, 강우에 의한 표면파괴해석

고려하여 각각에 대한 안정성을 분석하였다(표 5 참조). 이에 따라, 비탈면의 종류는 총 5가지 경우에 대하여 검토하고, 지반조건은 총 21가지 조건에 대하여 검토하였다. 안정성검토는 일반적으로 사용하는 비탈면안정 해석프로그램인 TARLEN97 프로그램을 이용하였다. 안정해석시 파

괴형태는 원호파괴형태로 가정하여 Simplified Bishop 방법으로 해석을 수행하였으며, 지표면 1.0m 이내에서 발생하는 표층파괴는 고려하지 않고 원호활동에 대한 최소안전을 계산되도록 하였다.

표 4. 비탈면 높이별 검토 단면

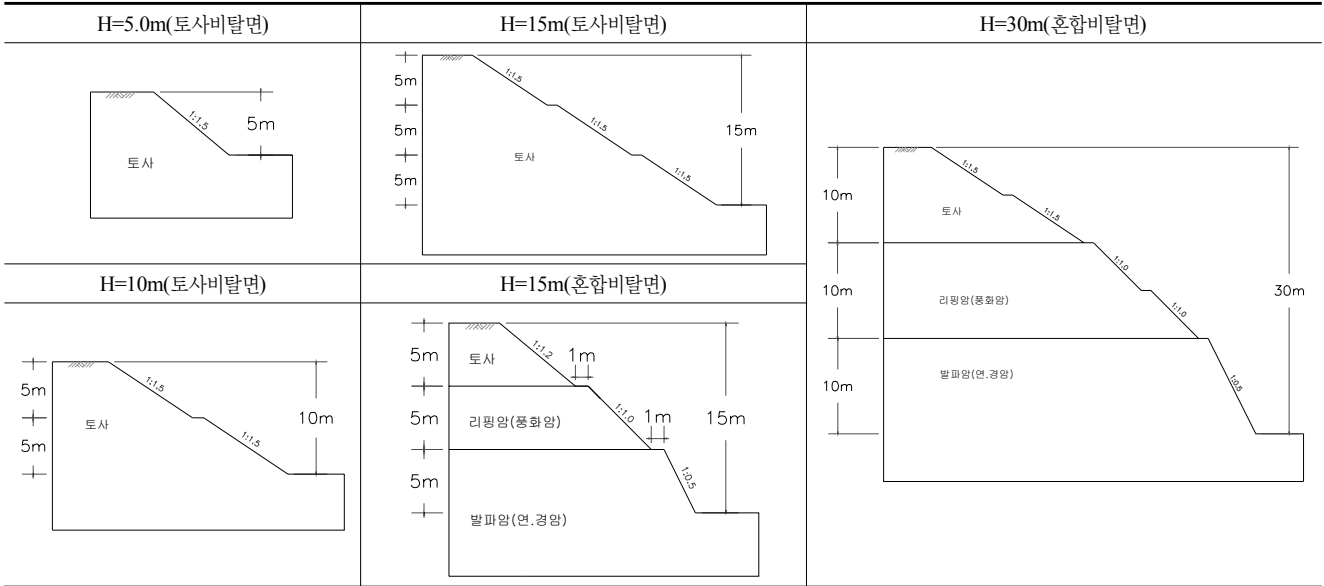


표 5. 토사비탈면에 대한 표준경사 안정성 해석결과

Soil No.	구 분	γ (tf/m^3)	c (tf/m^2)	ϕ (deg.)	H=5m		H=10m		H=15m		분류기호 (통일분류)	
					우기시	건기	우기시	건기	우기시	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	자갈 섞인 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 강하게 눌러 들어감)	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			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 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			

* 음영부분은 설계기준안전율(건기시 FS \geq 1.5, 우기시 FS \geq 1.2)을 만족하지 못하는 경우를 표시

4.2 안정성 검토결과

본 해석에 사용된 강우시 비탈면의 안정성 검토 기준은 한국도로공사의 도로설계요령을 기준으로 하여 건기시 $F_s \geq 1.5$, 우기시 $F_s \geq 1.2$ 를 기준안전율로 하였다. 비탈면 높이는 5m, 10m, 15m에 우기시(지하수위 지표면 위치)일 경우에 대하여 각 토질 지반정수별 해석을 실시하였다. 다음은 해석 단면별 해석결과를 나타낸 것이다(표 5, 그림 3~5 참조).

토사비탈면에 대한 각 높이별 안정성 검토결과 높이 5m의 비탈면의 경우는, 총 21가지의 경우 중 건기시 8개 조건, 우기시 9개 조건에서 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 전체 조건 중 건기시 38%, 우기시 43%가 위험한 상태인 것으로 검토되었다(그림 3 참조).

높이 10m의 토사비탈면인 경우도, 각각 건기시 11개 경우(52%), 우기시 14개 경우(67%)에 대하여 안정성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었으며, 높이 15m 비탈면의 경우도 건기시 13개 경우(62%), 우기시 18개 경우(86%)가 소요안전율을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다(그림 4 및 5 참조).

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

각 기관에서 권고하고 있는 비탈면 경사, 지반강도정수 등을 적용한 표준단면조건으로 검토한 비탈면 안정성은, 제시된 여건 하에서 어떠한 경우라도 소요안전율을 만족하여야 하나, 안정성 평가결과 소요안전율을 확보하지 못하는 경우가 많은 것으로 나타났다. 표준경사 조건의 비탈면이 불안정한 상태를 보인다는 것은 국내 각 기관에서 권고하고 있는 지하수위 조건이나 비탈면 안정해석방법 또는 표준경사에 문제점이 있음을 시사하는 것이라 할 수 있다. 따라서 국내에서 설계시 기준으로 적용하고 있는 표준경사 및 우기시 지하수위 적용기준과 같은 비탈면 설계조건에 대한 전반적인 재검토가 이루어져야 할 것이라 판단된다.

리핑암으로 구성된 비탈면의 경우, 지반물성치는 기반암의 종류 및 풍화도 그리고 불연속면의 발달상태에 따라 매우 다양하게 측정되고 있어, 토사와 같은 물성치의 범위가 제시되어 있지 않고 있다. 따라서, 국내에서의 설계시 리핑암 구간까지는 토사와 같은 원호파괴 형태를 가정하여 비탈면 안정성해석을 하되, 그 물성치의 추정은 실험을 통해서 실시하거나 기존의 반 경험적 방법을 통하여 추정

해서 적용하고 있는 실정이다.

따라서, 리핑암 비탈면의 경우는 제시된 지반물성치에 대한 평가가 아닌, 지반물성치를 가정하여 변화시키며 소요 안전율을 확보하기 위해 필요한 강도정수를 역으로 추정하였다. 이 경우 토사의 지반물성치는 표 5에서의 일반적인 토사물성치를 참고로 하여 단위중량 $1.9tf/m^3$, 점착력 $1.5tf/m^2$, 내부마찰각 30° 를 사용하였으며, 리핑암은 단위중량을 $2.0tf/m^3$ 으로 고정하고 점착력과 내부마찰각을 변화시키며 안정성을 검토하였다(그림 6 참조). 발파암의 경우는 비탈면의 붕괴가 일반적으로 불연속면의 특성에 지배되므로 본 연구에서 검토하고자 하는 원호활동에 의한 파괴와는 다른 양상을 보인다. 따라서, 혼합비탈면에 대한 안정성 검토시 파괴활동면이 발파암을 통과하지 못

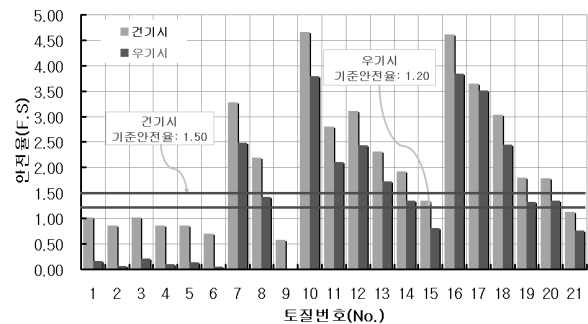


그림 3. 5m 비탈면 자연지반의 토질종류별 안전율 변화

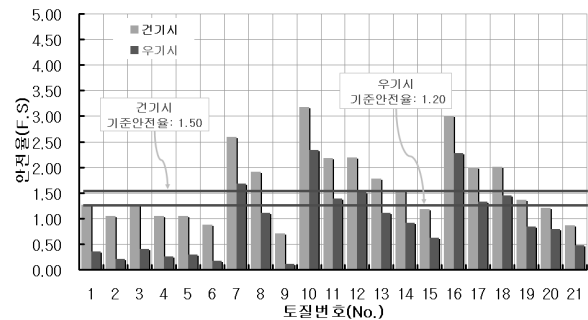


그림 4. 10m 비탈면 자연지반의 토질종류별 안전율 변화

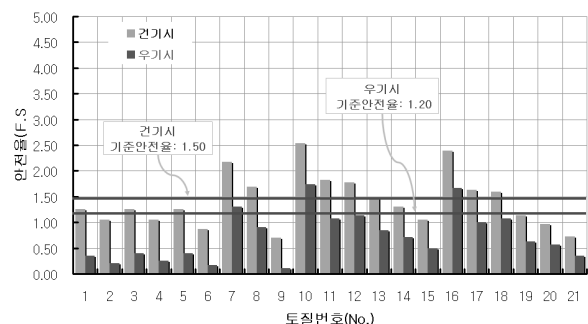


그림 5. 15m 비탈면 자연지반의 토질종류별 안전율 변화

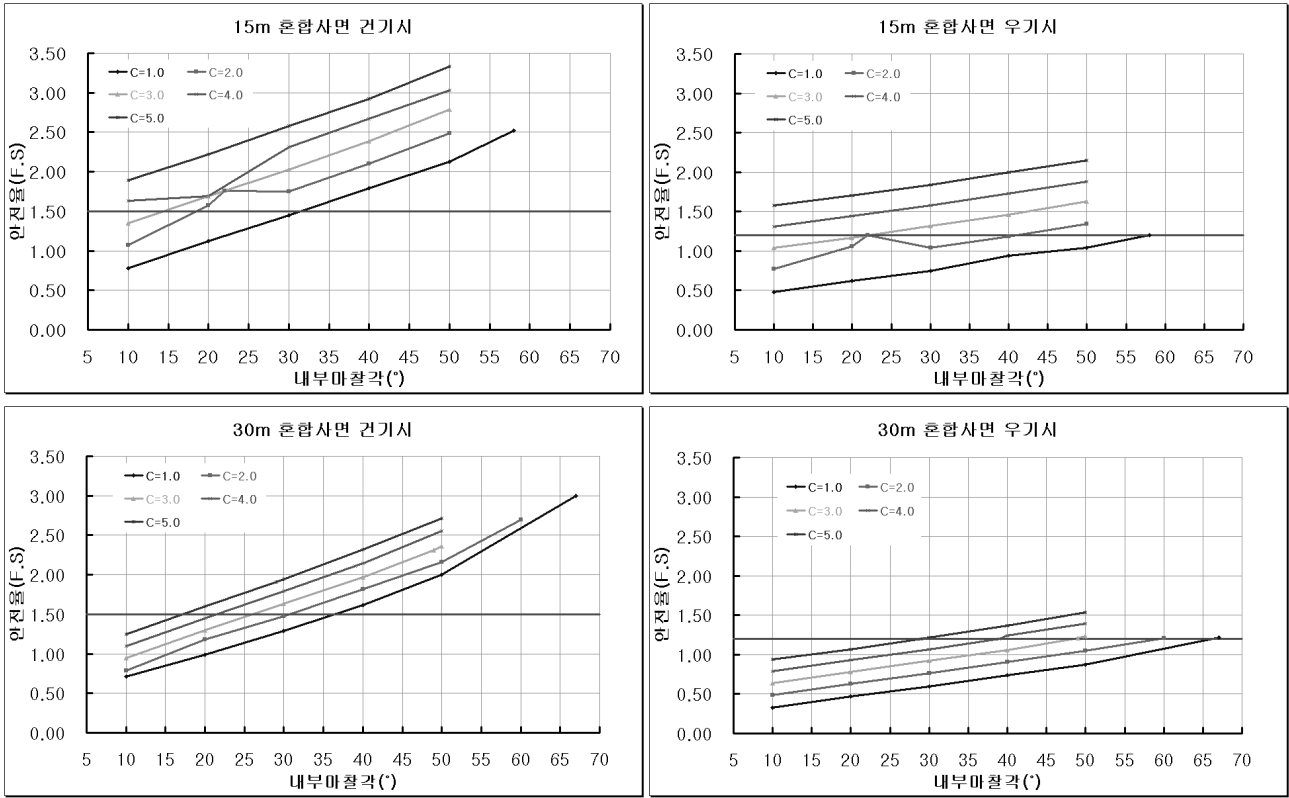


그림 6. 기준안전율을 만족하는 리핑암(풍화암)의 지반정수

하도록 임의로 조정하여 해석하였다.

안정성 검토결과, 우기시의 높이 15m 비탈면의 경우 점착력이 $3.0tf/m^2$ 의 값이면 내부마찰각이 최소 22° 이상이 되어야 하고, 점착력이 $1.0tf/m^2$ 일 경우는 내부마찰각이 58° 가 되어야 표준경사에 대한 안정성을 만족하는 것으로 나타났다. 높이 30m 비탈면의 경우는 리핑암의 점착력이 $5.0tf/m^2$ 의 경우라도 내부마찰각이 28° 이상이 되어야 하고 점착력이 $3.0tf/m^2$ 인 경우는 내부마찰각이 최소 48° 이상이 되어야만 우기시 표준경사에 대한 안전율을 만족하는 것으로 검토되었다. 이러한 값은 국내 설계시 일반적으로 가정하여 적용하는 리핑암의 지반물성치를 훨씬 상회하는 것이라 판단되며, 이러한 결과로 인해 비탈면 설계시 안정성을 검토하는 대절토비탈면의 경우 매우 많은 보강을 적용하게 하는 원인이 될 수 있다.

본 연구결과를 통하여 비탈면 설계 및 안정성 검토방법에 대한 문제점을 확인할 수 있었으며, 다만 이러한 문제점은 설계기준상의 문제인지 아니면 지반물성치 추정방법의 오차나 해석방법의 오차인지 여부를 확인하기는 불가능하나, 현재 국내에서 시행되고 있는 비탈면의 설계방법이 재조명 되어야 할 필요가 있다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

일반적으로 수행하는 비탈면 설계방법은 구간 내 대절토 비탈면의 경우 설계기준상의 설계조건을 이용하여 안정성 분석을 실시하고 필요시 보강대책을 수립하게 되며, 규모가 비교적 작은 토사비탈면 등은 별도의 안정성 검토를 수행하지 않고 각 기관에서 제시하고 있는 비탈면 표준경사를 적용하여 설계하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 각 기관별로 설계기준에서 제시하고 있는 지층별 표준경사에 대한 실제 안정성을 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 비탈면의 표준경사는 대부분 5.0m 이상의 토사비탈면의 경우 1:1.5(V:H)를 적용하도록 하고 있고, 강우시 안정성을 검토하기 위해서는 지하수위를 가정하여 설계하도록 하고 있으며, 강우시 지하수위 적용기준은 기관마다 조금씩 차이는 있으나, 최근 변경된 건설교통부 기준의 경우 지표면까지 완전히 포화된 것으로 가정하여 설계하도록 하고 있으며, 최근 강우시 설계기준을 강화하는 추세이다.
- (2) 비탈면 표준경사에 대한 안정성을 지반물성치별 및 비탈면 높이별로 검토한 결과 전체 63개의 조건에 대한

여 건기시는 32개 조건에서 설계기준안전율인 $FS \geq 1.5$ 를 만족하지 못하여 전체 약 50% 이상이 안정성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었으며, 지하수위가 지표면까지 완전히 포화되었을 경우에 대하여 지반물성치별 안전율을 검토한 결과는 우기시 설계기준안전율인 $FS \geq 1.2$ 를 만족하지 못하는 경우가 전체의 약 65% 이상인 것으로 검토되었다.

- (3) 토사지반의 표준경사에 대한 안전율을 검토한 결과, 표준경사는 시방기준상에 제시된 가장 불리한 조건을 고려할 경우라도 설계소요안전율을 확보해야 함에도 불구하고 매우 많은 경우에 있어서 설계소요안전율을 확보하지 못하였다. 이러한 결과로부터 비탈면 설계 및 안정성 검토방법에 대한 문제점을 확인할 수 있었으며, 다만 이러한 문제점은 설계기준상의 문제인지 아니면 지반물성치 추정방법의 오차나 해석방법의 오차인지 여부를 확인하기는 불가능하나, 현행 설계기준에서 제시된 표준경사 혹은 강우시 지하수위 조건 또는 설계방법에 대한 전반적인 재검토가 필요하다고 판단된다.
- (4) 리핑암의 표준경사에 대해서는 관련 지침이나 기준상에서 제시하는 지반물성치가 없으므로, 설계소요안전율을 확보하기 위한 지반물성치를 역으로 추정하였다. 그 결과 높이 15m 비탈면의 경우는 우기시점착력이 $3.0tf/m^2$ 의 값이면 내부마찰각이 최소 22° 이상이 되어야 하고, 점착력이 $1.0tf/m^2$ 일 경우는 내부마찰각이 58° 가 되어야 표준경사에 대한 안정성을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 높이 30m 비탈면의 경우는 리핑암의 점착력이 $5.0tf/m^2$ 의 경우라도 내부마찰각이 28° 이상이 되어야 하고 점착력이 $3.0tf/m^2$ 인 경우는 내부마찰각이 최소 48° 이상이 되어야만 우기시 표준경사에 대한 안전율을 만족하는 것으로 검토되었다.
- (5) 이러한 결과는 국내 설계시 일반적으로 가정하여 적용하는 리핑암의 지반물성치를 훨씬 상회하는 것이라 판단되며, 이로 인해 비탈면 설계시 안정성을 검토하는 대절토비탈면의 경우 매우 많은 보강을 적용하게 하는

원인이 될 수 있고, 표준경사를 적용하여 시공한 많은 비탈면의 안정성이 확보되지 못할 수도 있음을 나타낸다. 따라서, 비탈면 시공시 안정성 및 경제성을 확보하기 위해서는 비탈면 설계기준에 대한 재조명이 필요할 것으로 판단되며, 설계기준의 재정립을 위해서는 지반 조건 및 주변여건별 다양한 검토와 추후 실제 붕괴이력에 대한 추적조사 등의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 상지대학교 2007년도 교내연구비로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부(2000), *도로설계편람*, 제4편 토공 및 배수, 406-10p.
 2. 건설교통부(2001), *도로설계기준*, 5장 토공, pp. 95~98.
 3. 건설교통부(2003), *국도건설공사 설계실무요령*, 11. 공종별 설계요령 2. 비탈면 안정공 89p.
 4. 대한주택공사(2006), *주택건설전문시방서*, 41010 비탈면보호, 103p.
 5. 소방방재청(2005), *2005 재난연감*, 제3장 재난발생통계, 기타 재난, 387p.
 6. 장범수(2004), 호우로 인한 비탈면 재해대책, *한국철도기술*, 제48호, pp. 28~37.
 7. 한국도로공사(1992), *도로설계요령*, 제2권 토공 및 배수.
 8. 한국도로공사(2002), *도로설계요령*, 제2권 토공 및 배수, pp. 123-124.
 9. 한국토지공사(2006), *단지조성공사 설계 및 적산 기준*, 제1편 설계기준 제3장 토공사.
 10. 한국토지공사(2006), *단지설계기법(Koland 설계기법 연구보고서)*, 다. 사면안정해석 최적기법 설계, pp. 1~3.
 11. 한국철도시설공단(2003), *고속철도설계기준*, 제4장 흙구조물, pp. 37~185.
 12. 황영철(2004), 도로 절토사면 산마루측구 배수성능에 따른 사면안정성 평가, *한국지반환경공학회논문집*, 제5권 제4호 pp. 73~79.
- (접수일: 2007. 3. 23 심사일: 2007. 4. 20 심사완료일: 2007. 5. 21)