

경남지역 절취사면의 현황분석에 관한 연구

A Study on the Status Analysis of Cut Slope in Gyeongnam Region

박진규¹⁾, Jin-Kyu Park, 박춘식²⁾, Choon-Sik Park, 장정욱³⁾, Jeong-Wook Jang

¹⁾ 국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

²⁾ 국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

³⁾ 국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

SYNOPSIS : This study examined 233 cut slopes in Gyeongnam region; evaluated hazards and slope conditions involved in the slope; and determined the priority order for reinforcement. The conclusions are summarized in the following.

(1) The slopes that need reinforcement or maintenance are 153, accounting for 65.6% of the entire slopes. Slopes with a length of 0~200m account for 70.9%; slopes with a height of 10~20m account for over 50%.

(2) Slopes with slope of more than 1:0.5 account for 70.9% of the entire slopes. The steepness of the slope is owing to more rock slopes than soil slopes.

(3) The percentages of rock slopes, soil slopes, complex slopes mixed with rocks and soil, and slopes comprised of igneous rocks are 54.4%, 24.9%, 20.7%, and 54.1%, respectively.

(4) In the rock area occurred cave-in, plain failure, wedge failure, and overturning failure, in order. Slopes with volcanic rocks are the most unstable, while sedimentary rocks and metamorphic rocks are relatively stable.

(5) When the slope height is over 20m, low grade slopes are more than 80%; leading to the conclusion that the higher the slope height is, the more unstable the slope is.

주요어 : 토층심도율, 절개지 사면, 파괴형태

1. 서 론

우리나라는 전국토의 70%정도가 산지로 이루어져 있고, 고온 다습한 지역에 속하는 봉적토층과 풍화 대층이 발달되어 산사태가 일어날 수 있는 지형적인 내적 요인을 가지고 있다. 우리나라는 연평균 강수량 1,100~1,400mm의 강우가 6월에서 9월에 집중되는 강우특성이 있으며, 이 특성이 우리나라 산사태의 주요인으로 작용하여 기타 여러 요인과 복합되어 매년 우기에 산사태가 많이 발생하고 있다고 보고되고 있다.

최근에는 인구의 도시집중과 산업발전으로 부족한 주택용지, 공장부지의 확보 및 도로를 건설하기 위하여 산지를 인위적으로 절토하여 자연사면의 균형이 깨어져 사면파괴가 발생하므로 인근 구조물 및 인명에 지대한 영향을 주게 된다.

암반사면의 안정성을 검토하기 위해서는 대상사면의 물성 및 공학적 특성을 파악하여야 하는데, 암반

사면의 절취경사를 결정하는 국내의 현행방법은 불연속면의 방향, 굴곡도, 전단강도 등 공학적 특성을 고려치 않고 주로 풍화암, 연암, 보통암, 경암, 극경암 등 암석의 강도에 따라 일률적으로 결정하고 있다. 현행의 방법은 암반사면의 안정성을 고려하고 있는 듯하나 실제로는 그 효과가 적어 절취후의 사면 붕괴에 대한 위험성이 남아 있게 되는 불합리한 문제점을 안고 있다.

따라서 본 논문에서는 경상남도 도로관리사업소에서 관리하는 지방도 중에서 위험 절개지 사면 233개소를 조사하고, 붕괴가 발생해서 많은 인적피해가 생기지 않게 하기 위하여 사면에 내재되어 있는 위험요인이나 사면의 상태 등을 평가하여 보강의 우선 순위를 결정하고자 하였다.

2. 연구대상 지역의 현황

본 연구대상의 현황은 경상남도 154개의 지역 수에 233개소의 사면을 조사하였다. 연구대상지역의 현황과 위치는 아래 표 1과 같다.

표 1. 연구대상 지역의 현황

위 치	지 구	지역수	개소수	연장(m)	위 치	지 구	지역수	개소수	연장(m)
	마산시	4	5	385		진주시	4	8	2,905
통영시	14	19	3,193	사천시	7	14	1,315		
밀양시	1	2	437	남해군	6	9	1,083		
거제시	21	39	7,104	하동군	7	16	2,740		
양산시	4	6	1,043	산청군	8	10	1,510		
의령군	7	9	1,535	함양군	21	27	7,912		
합안군	4	7	559	거창군	21	29	4,590		
창녕군	3	4	1,188	고성군	13	24	2,360		
합천군	5	5	1,010	-	-	-	-		

3. 안전점검 평가기준

본 장에서는 절토사면을 구성하고 있는 지반의 특성, 외부 환경, 사면 파괴특성 등을 감안한 위험절개지 평가기준과 이에 따른 평가기법 및 배점에 대해 논하고자 한다. 위험절개지 사면을 대상으로 안전점검조사를 실시하는데 있어 수행되는 평가는 본 장에서 제안하는 기준과 절차에 의해 수행하는 것을 원칙으로 하였으며, 절개지사면의 특성과 여건 등을 고려하여 적절히 응용하였다. 안전점검 조사항목은 표 2와 같다.

표 2. 안전점검 조사항목

구 분	조 사 항 목
사 면 손상상태	1) 파괴징후 인장균열 : 균열의 폭, 길이, 깊이, 진행성 여부 지반변형 : 변형범위, 변형방향, 최대 변위량 구조물 변형 : 구조물 유형, 규모, 변형범위, 변형방향, 최대 변위량
	2) 파괴 현황 파괴유형, 파괴부위의 위치, 파괴 발생규모: 폭, 길이, 깊이, 높이
사 면 파괴요인	3) 지반상태 토질 및 지반조건, 토층 두께, 대표적인 절리특성(주향/경사, 절리상태) : 길이, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도
	4) 사면형상 사면경사, 집수지형
	5) 자연적 외부요인 강우량 : 시간당 강우량, 1일 강우량, 2일 누적강우량, 지하수위
	6) 인위적 외부요인 표면보호공 상태, 절취 상태, 사면보강공 상태, 배수조건

절개지 사면은 토층심도율에 의해 토사사면과 암반사면으로 구분할 수 있으며, 암반사면은 다시 지반강도 특성 및 암반의 블록크기 비에 의해 절리암반 사면, 파쇄암반 사면, 연약암반 사면으로 세분될 수 있다. 토층심도율은 토사사면과 암반사면으로 구분할 수 있는 지지자로서 아래 식과 같다.

$$SR = \frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}} \quad (1)$$

암반의 블록크기 비(block size ratio : BR)는 아래 식과 같이 블록크기 지수대 사면높이의 비를 말하며, 블록크기 지수는 각 절리군의 평균 간격(Si)의 산술 평균으로 정의 할 수 있다.

$$SR = \frac{\text{블록크기 지수}(I_b)}{\text{사면높이}(H)} \quad (2)$$

절개지 사면의 상태평가는 손상상태와 파괴요인으로 구분하여 평가하며, 각각의 평가항목에 대한 상태평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하고, 여러 개소에서 나타날 경우 등급을 하향 조정한다. 이러한 세부기준은 국내·외의 다양한 문헌과 그간 국내에서 조사되었던 사면 자료의 분석을 통해 결정하였으며, 다양한 전문가들의 의견 및 현실 여건을 반영한 것이다. 절개지 사면의 파괴요인 평가 항목은 표 3과 같다.

표 3. 절개지사면의 파괴요인 평가 항목

구 분		내부 파괴 요인		외부 파괴 요인	
		지반 상태	사면 형상	자연적 요인	인위적 요인
토사사면		토질조건 토층심도율	사면의 경사 집수 지형	강우/지하수	표면상태 보호/보강상태 배수상태
암 반 사 면	연약암반 사 면	지반강도 특성 면구조경사 내구성(풍화상태)	사면의 경사	강우/지하수	절취상태 보호/보강상태 배수상태
	파쇄암반 사 면	절리간격 저면경사 절리상태	사면의 경사	강우/지하수	절취상태 보호/보강상태 배수상태
	절리암반 사 면	절리방향 절리경사 절리상태	사면의 경사	강우/지하수	절취상태 보호/보강상태 배수상태

4. 등급분류 및 조사결과

4.1 등급분류

절개지사면의 유형별 결합지수 산출방법은 다음과 같다. 사면 손상상태 지수는 손상상태 항목 점수의 합을 총점 24점으로 나누어 계산하며, 사면 파괴요인 지수 역시 파괴요인 항목점수의 합을 총점 52점으로 나누어 계산한다. 결합지수는 사면 손상상태 항목 점수와 사면 파괴요인 항목 점수의 합을 총점 76으로 나누어 계산한다. 기준은 표 4~7과 같다.

표 4. 토사사면의 사면 손상상태 평가기준

항 목		결합등급					
			a	b	c	d	e
파괴 징후	①인장균열	구분	없음	1mm미만	1 ~ 5mm	5 ~ 50mm	50mm이상
		점수	(0)	(1-3)	(4-5)	(6-7)	(8-10)
	②지반변형	구분	없음			있음	
		점수	(0-2)			(3-5)	
	③구조물변형	구분	없음			있음	
		점수	(0-2)			(3-5)	
파괴 현황	④발생규모	구분	0	1m ² 미만	1 ~ 8m ²	8 ~ 64m ²	64m ² 이상
		점수	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)
사면 손상상태: (①~④)/24							

표 5. 토사사면 파괴요인 지수

항 목		결함등급		a	b	c	d	e
지반 상태	⑤토질조건	사질토	매우 조밀	조 밀	보 통	느 슨	매우 느슨	
		점성토	매우 단단	단 단	보 통	연 약	매우 연약	
		점 수	(0)	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	
	⑥토층심도 율	구 분	0.45미만	0.45~0.5	0.5~0.6	0.6~0.8	0.8이상	
점 수		(0)	(1)	(2)	(3)	(4)		
사면 형상	⑦사면경사	구 분	1:2미만 (26.6°미만)	1:2~1:1.5 (26.6~33.7°)	1:1.5~1:1.2 (33.7~39.8°)	1:1.2~1:1 (39.8~45°)	1:1이상 (45°이상)	
		점 수	(0)	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	
	⑧집수지형	구 분	무관	1	2	3	4	
		점 수	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	
자연 요인	⑨강우 및 지하수	1일 강우량	0mm	0~50mm	50~100mm	100~150mm	150mm이상	
		지하수위	완전건조	사면높이의 1/3	사면높이의 1/2	사면높이의 2/3	완전포화	
		점 수	(0)	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	
인위 요인	⑩표면보호	구 분	숯크리트, 석장공 등	식생 양호	식생 보통	식생 불량	식생없음	
		점 수	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	
	⑪보호/보강 상태	구 분	양호함		노후됨		결함이 관찰됨	
		점 수	(0-2)		(3-6)		(7-8)	
	⑫배수조건	구 분	완전 배수	양 호	보 통	불 량	매우 불량	
		점 수	(0)	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	
사면 파괴요인: (⑤~⑫)/52								
결함지수(F) 산정								

결함 지수(F) = (①~⑫)/76

표 6. 암반사면의 사면 손상상태 평가기준

항 목		결함등급		a	b	c	d	e
파괴 징후	①인장균열	구분	없음	1mm미만	1~5mm	5~50mm	50mm이상	
		점수	(0)	(1-3)	(4-5)	(6-7)	(8-10)	
	②지반변형	구분	없음			있음		
		점수	(0-2)			(3-5)		
	③구조물변형	구분	없음			있음		
		점수	(0-2)			(3-5)		
파괴 현황	④발생규모	구분	0	1m ³ 미만	1~8m ³	8~64m ³	64m ³ 이상	
		점수	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	
사면 손상상태: (①~④)/24								

표 7. 토사사면 파괴요인 지수

항 목		결함등급		a	b	c	d	e
지반 상태	⑤절리간격	구 분	2m 이상	60cm~2m	20cm~60cm	6cm~20cm	6cm 미만	
		점 수	(0)	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	
	⑥저면경사	구 분	0°미만	0~10°	10°~20°	20°~30°	30°이상	
		점 수	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	
	⑦절리 상태	구 분	매우 유리	유 리	보 통	불 리	매우 불리	
		점 수	(0)	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	
사면 형상	⑧사면 경사	구 분	1:1.2 미만 (39.8°미만)	1:1.2~1:1 (39.8~45°)	1:1~1:0.7 (45~55°)	1:0.7~1:0.5 (55~63.5°)	1:0.5 이상 (63.5°이상)	
		점 수	(0)	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	
자연 요인	⑨강 우 및 지하수	1일 강우량	0mm	0~50mm	50~100mm	100~150mm	150mm이상	
		지하 수위	완전건조	사면높이의 1/3	사면높이의 1/2	사면높이의 2/3	완전포화	
		점 수	(0)	(1-2)	(3-4)	(5-6)	(7-8)	
인위 요인	⑩절취상태	구 분	매우 좋음	중 음	보 통	나쁨	매우 나쁨	
		점 수	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	
	⑪보호/보강 상태	구 분	양호함		노후됨		결함이 관찰됨	
		점 수	(0-2)		(3-5)		(6-8)	
	⑫배수조건	구 분	완전 배수	양 호	보 통	불 량	매우 불량	
		점 수	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	
사면 파괴요인 지수(F2) = (⑤~⑫)/52								

사면 상태평가 지수(F)

결합 지수(F) = (①~⑫)/76

절개지사면 상태평가등급은 세부 평가 항목별 평가에 의해 산출된 결합지수(F)에 따라 A, B, C, D, E의 5 등급으로 구분하면 표 8과 같다.

표 8. 절토사면의 상태평가 기준

상태 등급	결합 지수(F)	상 태
A	0 F<0.15	문제점이 없는 최상의 상태
B	0.15 F<0.30	경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며, 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태
C	0.30 F<0.55	보통의 손상, 결함이 발생하였으나 안전성에 지장은 없으며, 내구성 및 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 간단한 보강이 필요한 상태
D	0.55 F<0.75	손상, 결함이 진전되고, 파괴 잠재성이 존재하여 긴급한 보수.보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E	0.75 F	심각한 손상, 결함 및 파괴 잠재성에 의하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태
인장균열, 지반변형, 구조물변형 등이 진행성으로 확인되는 경우 상태평가등급을 하향하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰한다. 보호/보강공법이 적용됨에 따라 사면의 안전성이 크게 향상되었다고 판단되었을 경우 상태평가등급을 상향할 수 있다.		

4.2 조사결과

금번 논문에서 조사한 233개소의 지방도 위험절개지를 사면의 유형별, 붕괴형태별로 분석하면 다음과 같다.

- (1) 사면의 연장을 규모별로 정리하면 1km이상의 연장을 갖는 사면이 1.7%, 500~1,000m 사면이 2.1%, 300~500m 사면이 8.6%, 200~300m 사면이 36.5%, 100m 이하의 사면이 34.8%로서 0~200m 까지의 사면이 전체사면의 70.9%를 점했다.
- (2) 사면의 높이 현황을 정리하면 사면고가 30m 이상인 사면이 11.2%, 사면고가 20~30m 사면이 14.6%, 사면고가 10~20m 사면이 50.2%, 사면고 10m 이하인 사면이 24.0%로서 전체사면의 50% 이상이 10~20m의 사면고를 갖는다.
- (3) 사면의 구배현황을 정리하면 1: 0.5 이상의 구배를 갖는 사면이 전체의 53.3%를 점한다. 이는 전체사면 중 토사사면보다 암반사면의 숫자가 많으며, 암반사면은 대체로 급구배를 이루고 있는데 기인하는 것으로 해석된다.
- (4) 사면의 방향에 따른 분류를 정리하면 북향사면보다는 남향사면의 사면개소가 많으며 남서향, 남향, 남동향 사면은 전체사면의 47.8%를 점한다. 남향사면이 상대적으로 북향사면보다 불안정함을 판단할 수 있다.
- (5) 사면의 종류에 따른 분류를 정리하면 전체사면중 암반사면이 54.4%, 토사사면이 24.9%, 암반과 토사가 혼재된 복합사면이 20.7%를 점한다.
- (6) 사면의 암종별 분류를 정리하면 심성암으로 구성되는 사면이 36.9%, 퇴적암 사면이 34.3%, 변성암 사면이 11.6%, 화산암으로 구성되는 사면이 17.2% 이다. 심성암(주로 화강암류)과 화산암으로 대표되는 화성암류의 사면이 전체사면의 54.1%를 차지한다.
- (7) 사면의 파괴형태에 따른 분류를 정리하면 암반구간의 파괴는 낙석, 낙반이 가장 우세한 파괴형태이며 (39.6%), 평면파괴, 쉼기파괴, 전도파괴의 순서로 파괴 발생 토사구간은 원호활동 및 토사유실이 주된 파괴의 유형으로 전체 파괴유형의 44.5%를 점한다. 토사사면이 상대적으로 암반사면보다 불안정한 것으로 나타났다.
- (8) 사면의 등급별 분류를 정리하면 E 등급이 38개소로 16.3%, D 등급이 115개소로 49.4%, C 등급이 70개소로 30.0%, B 등급이 9개소로 3.9%, A 등급이 1개소로 0.4%를 차지한다. 전체사면중 D 등급 사면이 가장 우세하게 분포하는 것으로 나타났다. 그 결과는 그림 1과 같다.

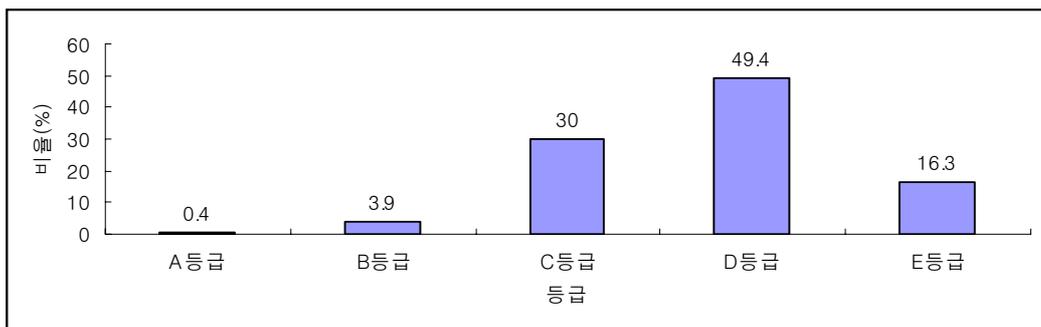


그림 1. 사면의 등급별 분류

- (9) 사면의 구배별 등급분포를 정리하면 1:1.0~1:1.2 구배에서 D, E 등급이 35.7%를 점유하며(D 등급: 35.7%, E 등급: 0%), 1:0.7~1:1.0 구배에서 D, E 등급이 74.0%를 점유하며(D 등급: 56.0%, E 등급: 18.0%), 1:0.5~1:0.7 구배에서 D, E 등급이 64.6%를 점유하며(D 등급: 52.1%, E 등급: 12.5%), 1:0.3~1:0.5 구배에서 D, E 등급이 75.6%를 점유하며(D 등급: 61.0%, E 등급: 14.6%), 1:0.3 이상 구배에서 D, E 등급이 66.7%를 점유(D 등급: 46.7%, E 등급: 20.0%)한다. 구배가 급할수록 E 등급의 사면이 많은 경향이 보여 사면구배가 급할수록 사면이 불안정함을 보여준다. 그 결과는 그림 2와 같다.

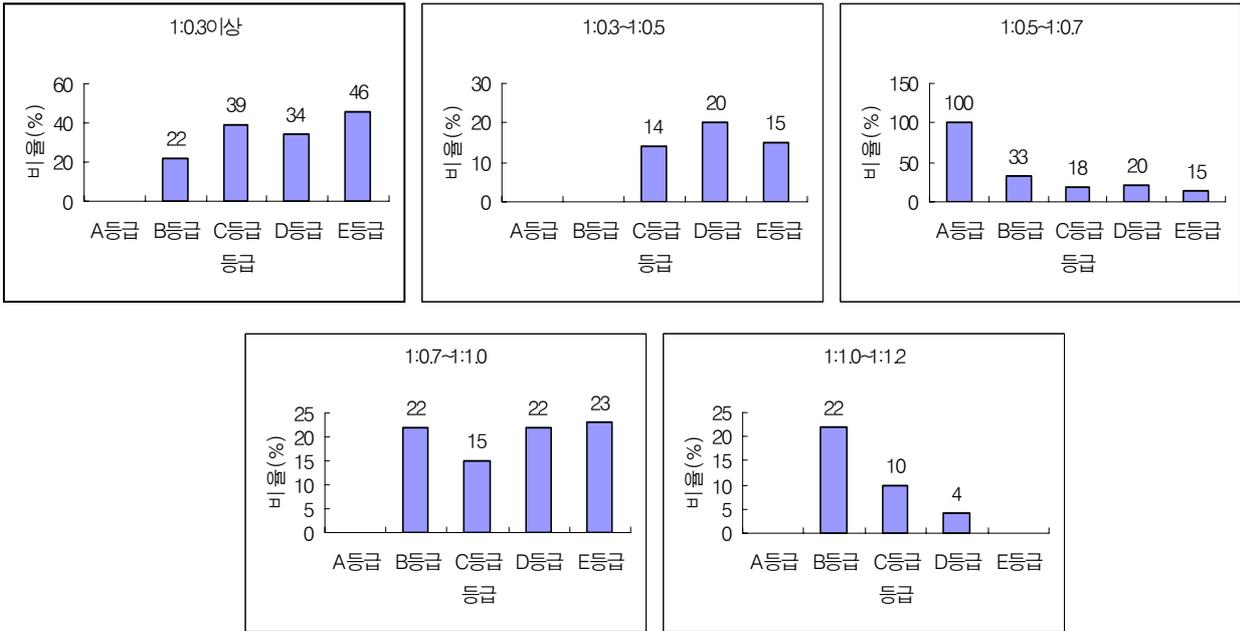


그림 2. 사면의 구배별 등급 분포

(10) 사면의 높이별 등급분포를 정리하면 사면고가 0~10m 사이의 사면은 D, E 등급이 59.0%를 점유하며, 10~20m 사이의 사면은 D, E 등급이 59.0%를 점유하며, 20~30m 사이의 사면은 D, E 등급이 85.3%를 점유하며 30m 이상의 사면은 D, E 등급이 84.6%를 점유하는 것으로 나타났다. 사면고가 20m 이상의 높이일 경우 D, E 등급이 점유율이 80% 이상인 것으로 나타나 사면고가 높을수록 사면이 불안정한 것으로 평가된다. 그 결과는 그림 3과 같다.

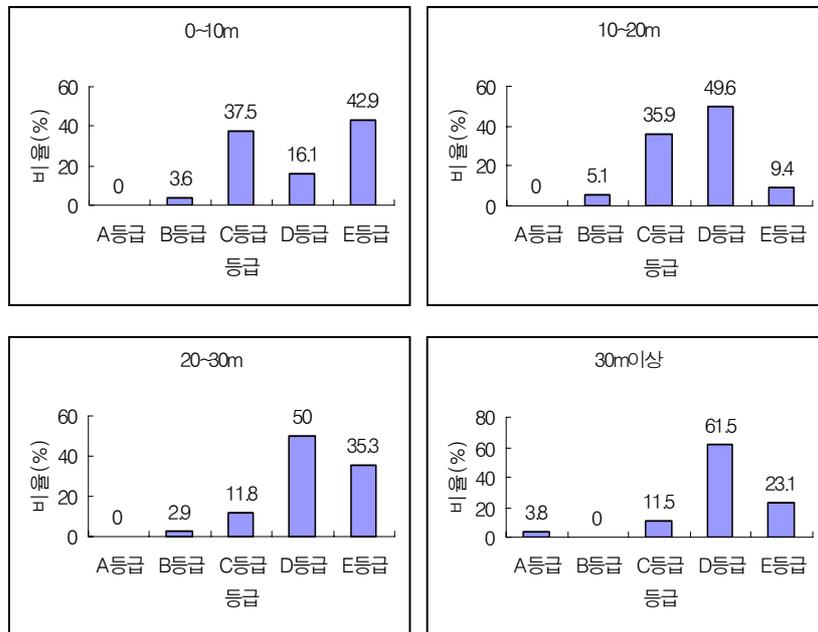


그림 3. 사면의 높이별 등급 분포

(11) 사면의 종류별 등급분포를 정리하면 암반사면의 경우 D, E 등급이 64.3%를 점유하며, 토사사면의 경우 D, E 등급이 66.1%를 점유하며, 복합사면의 경우 D, E 등급이 88.5%를 점유하는 것으로 나타났다. E 등급은 토사사면에서 가장 많고(20.3%), 암반사면에서 상대적으로 적다(15.5%). 따라서 토사사면이 암

반사면보다는 불안정한 것으로 평가되고, 복합사면은 상대적으로 암반 또는 토사사면보다 D, E 등급이 많아 불안정한 것으로 평가되었다. 그 결과는 그림 4와 같다.



그림 4. 사면의 종류별 등급 분포

5. 결 론

본 논문에서는 경상남도 도로관리사업소에서 관리하는 지방도 중에서 다소 불안감이 보이는 사면 233개소를 조사하고, 붕괴가 발생해서 많은 인적피해가 생기지 않게 하기 위하여 사면에 내재되어 있는 위험요인이나 사면의 상태 등을 평가하여 보강의 우선 순위를 결정하고자 하였으며, 결과분석을 통해 급변에 조사한 233개소의 사면에 대한 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 조사결과 총 233개소의 사면중 A등급이 1개소, B등급이 9개소, C등급이 70개소, D등급이 115개소, E등급이 38개소로서, 보강·보수작업이 필요한 D,E등급 사면은 총 153개소로 전체사면의 65%를 차지한다.
- 2) 조사결과 0~200m의 연장을 갖는 사면이 70.9%로서 가장 우세하게 분포한다.
- 3) 사면의 높이는 10~20m의 사면고를 갖는 사면이 전체사면의 50% 이상을 점한다.
- 4) 1:0.5 이상의 구배를 갖는 사면이 전체의 53.3%로서 이는 전체 사면중 토사사면보다 암반사면의 개소수가 많으며, 암반사면은 대체로 급구배를 이루고 있는데 기인하는 것으로 해석된다.
- 5) 남향사면이 북향사면보다 많으며, 상대적으로 불안한 상태로 분포한다.
- 6) 전체사면중 암반사면이 54.4%, 토사사면이 24.9%, 암반과 토사가 혼재된 복합사면이 20.7%를 점한다.
- 7) 심성암(주로 화강암류)과 화산암으로 대표되는 화상암류로 구성되는 사면이 전체사면의 54.1%를 차지한다.
- 8) 암반구간에서의 파괴는 낙반이 가장 우세한 파괴형태이며, 평면파괴, 썩기파괴, 전도파괴 순서로 발생하였다.
- 9) 화산암으로 구성되는 사면이 가장 불량하게 분포하며, 퇴적암 및 변성암은 상대적으로 안정하다. 이는 경남지방에 분포하는 퇴적암이 10° 내외의 완만한 지층경사를 이루는데 기인하며, 변성암도 엽리에 따른 파괴가 발생되지 않기 때문으로 해석된다.
- 10) 사면고가 20m 이상으로 높은 경우 D·E등급의 개소가 80%이상인 것으로 나타나 사면고가 높을수록 사면이 불안정한 것으로 평가된다.

* 참고문헌

1. 박춘식, 장정욱(1999) “토질역학”, 엔지니어즈,
2. 신경진, 이근채 “남해고속도로 현장의 암반절취사면 안정성 검토” 대림기술정보 ‘97겨울
3. 양형식, 이회근 외 “응용암석역학”, 도서출판 서울대학교 출판부, 1997
4. 윤지선 역 “토목지질공학”, 도서출판 구미서관 2000
5. 이근채(1999) “암반사면의 안정성 해석”, 대림기술정보 제58호 pp.96-107
6. 전성기, “실무자를 위한 사면안정화 설계실무편람”, 과학기술 1998
7. 창원대학교 산업기술연구원 “경남 합천군 가회면 장대리 장대도로 사면 안정서 검토 및 보강대책수립 보고서”, 2003