

하여 붕괴 원인을 도출하였으며, 절토사면의 위험등급 분류에 의한 유지관리 등급을 결정하였다(단, 분류기준이 2003년 초·중반에 시행되어 매미에 의한 붕괴절토사면은 분석에서 제외됨). 이에 대한 활용방안으로 전국의 국도 절토사면의 현황조사 자료를 근간으로 향후 도로 절토사면 유지관리의 효율성을 극대화 하고자 한다.

1.1 도로 절토사면 유지관리 시스템 수행 현황

과거 90년대 이전에 완공된 절토사면은 설계기준의 불합리성과 절토사면 하부 발파 시공 등에 의해 항구적인 안전성이 확보되지 않아 낙석발생 및 집중강우시 붕괴가 발생하고 있는 실정이다. 이에 한국건설기술연구원에서는 도로 절토사면의 붕괴피해예방을 위하여 기존의 붕괴 발생 후 대책을 수립하는 방식을 탈피하여 사전에 위험절토사면을 대상으로 현장조사, 안정성해석, 대책수립 등 적극적인 선진국형 재해 대책방안인 도로절토사면 유지관리 시스템 운영시행 중에 있다. 전국 국도 절토사면의 조사우선순위 결정(18개 항목기준)에 의해 연차적으로 절토사면의 조사 및 대책방안을 수립하여 현재 총 2,025개소에 대해 대책을 수립하였다.

1.2 낙석·산사태 피해 현황

1996~1999년까지 국도 절토사면의 경우 연평균 약 50개소의 붕괴 발생하였으며, 1997년 12월부터 시작된 ‘도로 절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용’ 연구 관련 대책시공이 본격적으로 이루어진 2000년부터 절토사면의 붕괴가 약 25개소로 50%정도 감소하였으나 2002년 제15호 태풍 루사(RUSA)의 기록적인 강우량에 의해 81개소(약 3배 이상)에서 붕괴가 발생하였다. 따라서 최근 발생하는 지엽적인 집중강우 내지 게릴라성 강우 특성을 고려한 대책방안 수립이 절실히 요구된다.

표 1. 최근 7년 동안 국도상에 발생한 낙석, 산사태 현황

년도 피해현황	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	누계
붕괴현장수	43	59	43	51	29	20	81	326
물적피해	차량파손 5대	없음	차량파손 2대	차량파손 12대	차량파손 4대	차량파손 1대	차량파손 21대	차량파손 45대
인명피해	경상1명 사망1명	없음	없음	경상3명 사망1명	경상1명	경상1명 사망1명	경상3명 사망1명	경상9명 사망4명

2. 도로 절토사면 분포현황 및 정비실적

전국 국도의 총 연장 약 12,477 km(단, 일반 국도)에 대해 현황조사를 실시한 결과 절토사면은 약 12,650개소(미조사 및 승격국도에 따라 다소 차이 발생, 2003년 8월 현재)가 분포하는 것으로 나타났다. (※ 단 본 조사자료의 경우 비전문가에 의한 자료로 절토사면의 개소수에 다소 차이가 발생할 수 있으며 자료의 신뢰성을 검증하기 위해 몇개의 국도에 대해 표본조사를 실시한 결과 다소의 차이 발생하여 자료를 수정보완 중에 있음. 2003. 12월 기준)

표 2. 전국 절토사면의 현황

구분	현장수	구분	현장수	구분	현장수	구분	현장수	구분	현장수
서울청	991	원주청	3,863	대전청	1,877	익산청	2,665	부산청	3,253
수원	303	홍천	2,055	논산	415	광주	522	대구	522
의정부	688	강릉	867	충주	701	전주	400	진주	931
		정선	941	보은	461	남원	1,057	포항	761
				예산	300	순천	686	영주	816
								진영	223

표 3. 위험절토사면 보강대책 수립완료 실적

년 도	현장조사 및 보수실적(개소)		비 고
	현장조사	보수실적	
총 계	3,015	1,931	'03년 사업 계획 (149 개소)
'95~'97	490	490	국도 자체시행
'98~'02	2,025	1,441	한국건설기술연구원 조사후 조치
'03	500	-	대절토사면

3. 도로 절토사면 붕괴 원인

일반적으로 도로 절토사면 붕괴는 직접적인 요인으로 강우와 절취 그리고 간접적인 요인으로 지형, 지질, 토질, 암상 등의 자연적인 요인에 의해 발생된다. 이중 붕괴에 직접적인 영향을 미치는 요인을 도출하고 붕괴 요인을 분석하고 향후 전국의 절토사면을 관리하는 기초 자료로 이용하고자 한다.

3.1 강우 특성 분석

절토사면 붕괴 발생 당시의 강우량 조사를 실시한 결과는 다음의 그림과 같다. 강우량은 최소 50~370 mm/day의 강우량 분포를 보였다. 국외의 기존 연구자료(일본토목연구소, 2002)에 의하면 절토사면 재해주의보는 최대시우량 15 mm, 누적강우량 100 mm, 절개면 재해 경보의 경우 최대시우량 30 mm, 누적강우량 200 mm 일 경우에 발생하는 것으로 보고 되고있다. 또한 표 4는 우리나라의 산사태 경보 기준을 나타내는 표이다. 이처럼 절토사면 재해주의보 수준의 강우량인 100 mm/day 이상일 때 95% 이상의 절토사면 붕괴가 발생하였으며 절토사면 붕괴 현상이 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다.

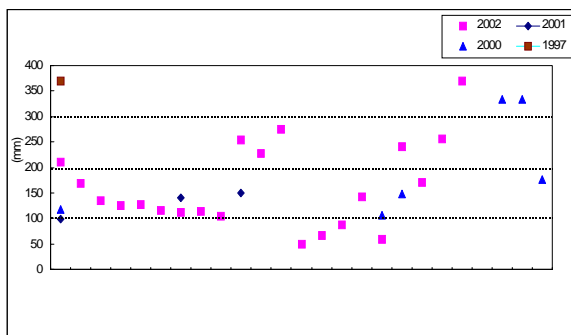


그림 1. 최근 5년간 붕괴 현장의 강우량 분석

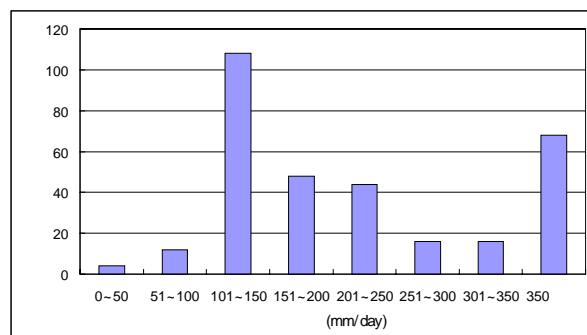


그림 2. 강우량 분포

표 4. 산사태 경보 기준

구 분		일강우량 (mm)	최대시우량 (mm/hr)	누적강우량 (mm)
김상규(1994)	주의	80 이상	15 이상	100 이상
	경보	140 이상	30 이상	200 이상
산림청(1993)	주의	180 이상	20 이상	100 이상
	경보	150 이상	30 이상	200 이상
이인모(1991)		200 이상	10 이상	-
홍원표(1990)		-	10 이상	40 이상

3.2 붕괴원인 도출

최근 5년간 발생한 절토사면의 붕괴현황 분석을 실시한 결과 현장조사를 실시한 총 2,025개소 중 339개소 (붕괴발생율 16.7%)에서 붕괴가 발생하였다. 붕괴절토사면 339개소에 대한 정밀 현장조사 자료를 활용하여 절토사면 붕괴의 원인을 도출하였다.

붕괴가 발생한 339개소 현장조사 자료를 근거로 절토사면 붕괴요인을 분석한 결과 암석의 결(방향성 포함), 풍화도, 지하수, 파쇄대, 지표수 집중유출, 나무의 기울어짐, 절토사면 하부손상(과거 시공발파 등에 의한 원인), 절토사면 상부 측구배수로의 손상 등으로 나타났으나 이를 압축하여 국내 절토사면 붕괴 요인을 3개 요인으로 도출할 수 있었다. 즉, 파쇄대, 나무의 기울어짐, 절토사면 상부 측구배수로의 손상 등은 풍화도로, 지표수 집중유출 등은 지하수로, 절토사면 하부손상 등은 암석의 결로 대표될 수 있다.

이에 따라 절토사면의 주 붕괴요인은 암석의 결, 풍화도, 지하수로 함축될 수 있다. 추출된 붕괴요인에 의한 분포 비율은 다음 표와 같다. 절토사면의 붕괴 요인별 분포율은 암석의 결 59.6 %, 풍화도 51.0 %, 지하수 누수 18.9 %로 절토사면 붕괴의 직접적인 요인으로 작용하였으며, 직접 붕괴요인 중 약 26 %는 2개 이상의 요인이 복합적으로 작용한 붕괴로 나타났다.

표 5. 붕괴요인 분석

분석개수	붕괴요인						
	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
339	134	104	10	37	22	23	9
(%)	39.5	30.7	2.9	10.9	6.5	6.8	2.7

※ a : 암석의결, b : 풍화도, c : 지하수, a+b : 암석의결+풍화도, a+c : 암석의결+지하수, b+c : 풍화도+지하수, a+b+c : 암석의결+풍화도+지하수

4. 유지관리 등급

4.1 유지관리 등급 분류

절토사면의 유지관리 등급을 구조물 안전진단과 같이 총 5개의 등급으로 분류하였으며 위험기준 설정 및 위험등급 분류(5등급 분류, A, B, C, D, E) 기준은 절토사면 현장별 붕괴발생 요인의 중복성을 고려하였다.

- A : 붕괴 발생요인이 발달하고 있지 않으나 강우 등의 영향을 받는 절토사면으로 예상치 못한 붕괴 시 피해가 미비할 것으로 사료되는 절토사면
- B : 붕괴 발생요인이 발달하고 있지 않으나 강우 등의 영향을 받는 절토사면으로 예상치 못한 붕괴 시 피해가 예측되므로 상시점검을 통한 주기적인 관리가 요망되는 절토사면
- C : 붕괴 발생요인 중 1개 이상의 요소가 상존하는 위험한 절토사면으로 장기적인 계획을 수립하여 현장조사에 의한 안정성해석 및 대책안을 필요로 하는 절토사면 (등급내에서 위험도에 따라 C1, C2, C3 로 분류)
- D : 붕괴 발생요인 중 2개 이상이 해당되어 점검계획을 수립하여 조사 및 대책이 요구되는 절토사면 (등급에서

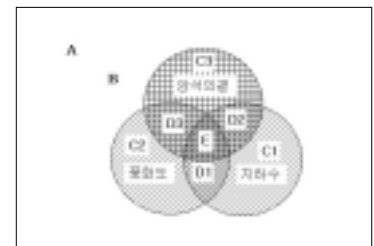


그림 3. 등급 분류 방법

위험도에 따라 D1, D2, D3 로 분류)

E : 3개의 붕괴 발생요인이 상존하고 있어 매우 위험한 상태로 전문가의 조속한 정밀조사와 대책이 강구되어야 할 절토사면

4.2 확률기법과 현황조사 자료 분석

최근 5년간 발생한 붕괴 절토사면의 원인 분석 후 확률론적인 기법을 이용하여 붕괴 가능성을 산정하였다. 기 조사된 2,025개소의 절토사면 중 붕괴 절토사면을 추출하여 분석을 실시하였으며 총 339개소의 붕괴 발생 절토사면을 대상으로 도출된 인자를 확률인자로 선정하여 붕괴가능성을 도출하였다. 이를 기초로 하여 붕괴 확률에 의한 자료와 현황조사 대상 절토사면 12,650 개소의 분석에 의한 등급별 개수를 비교하였다.

암석결	풍화도	지하수	붕괴가능성
joint	weathering	ground water	probability of failure
no 54	no 60.6	no 85.4	$0.54 \times 0.606 \times 0.854 = 0.279$
		yes 14.6	$0.54 \times 0.606 \times 0.146 = 0.048$
	yes 39.4	no 85.4	$0.54 \times 0.394 \times 0.854 = 0.182$
		yes 14.6	$0.54 \times 0.394 \times 0.146 = 0.031$
yes 46	no 60.6	no 85.4	$0.46 \times 0.606 \times 0.854 = 0.279$
		yes 14.6	$0.46 \times 0.606 \times 0.146 = 0.041$
	yes 39.4	no 85.4	$0.46 \times 0.394 \times 0.854 = 0.155$
		yes 14.6	$0.46 \times 0.394 \times 0.146 = 0.026$

그림 4. 절토사면의 event tree(붕괴가능성 도출)

전국 12,650 개소의 현황조사 자료 분석에 의해 절토사면을 위험등급 분류기준에 따라 E 등급부터 A 등급까지 5개의 등급으로 분류한 결과와 붕괴가능성의 분석에 의한 12,650 개소의 붕괴가능 절토사면에 대한 등급분포도를 비교하면 다음과 같다(표 6). 붕괴 분석을 통한 자료의 경우 실제의 자료보다 위험요소에 의한 극한적으로 위험한 상태를 나타내어 총 절토사면 중 위험요소를 하나씩 포함하고 있는 C 등급 이상이 9115개소(약 72 %)로 나타났다. 이는 붕괴가능성의 도출에 있어서 강우에 의한 요소를 100으로 산정한 값으로 절토사면을 극한적인 위험상태로 나타내어 실제 현황조사 자료와 비교해 볼 때 다량의 절토사면을 위험한 것으로 평가하고 있어 향후 이에 대한 보완연구가 요구된다.

표 6. 절토사면 개수

	붕괴가능성 분석	현황조사자료
A/B	3535	5837
C	5914	5062
D	2866	1622
E	335	129

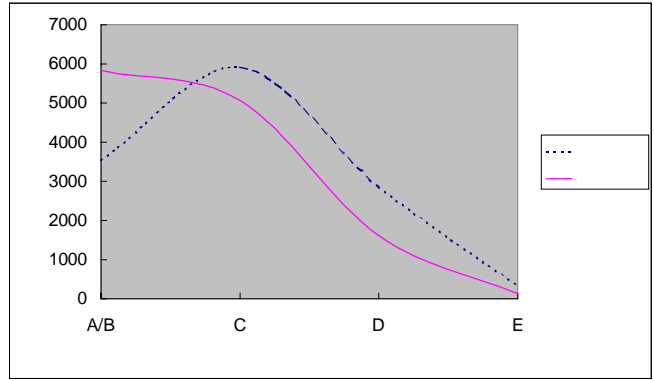


그림 5. 각 등급별 절토사면 수

5. 결론

도로 절토사면의 경우 절토사면의 풍화, 집중 강우, 동결 및 용해작용 등으로 매년 우기나 해빙기에 낙석 및 산사태 등이 발생하여 인명 및 재산 피해가 발생되고 있는 실정이므로 지속적이고 체계적인 관리 시스템을 활용한 유지관리를 통해 피해를 최소화해야 할 것으로 판단된다. 이를 위해서 최근 집중강우에 의해 붕괴된 절토사면을 대상으로 붕괴요인을 분석 및 도출한 후 붕괴 요인별 가중치를 고려하여 전국에 분포된 국도 절토사면을 대상으로 5개의 등급으로 분류하였고 이를 관리하고자 한다. 현재 붕괴 자료의 표본 분석에 의해 붕괴가능성을 산정하고 이를 기초로 전체 절토사면에 대하여 등급을 분류한 경우 극한의 위험요소로 가정하여 절토사면을 확대 해석하는 것으로 나타나 이의 보완이 요구된다. 특히 강우 인자를 붕괴 분석에 포함 시켜 붕괴가능성 분석을 실시하여 실제의 붕괴가능성에 접근시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 비전문가에 의한 현황조사 자료의 신뢰성 보완으로 위험요소를 포함하는 절토사면의 등급별 현황을 정확히 파악하여 효율적인 유지관리를 수행할 수 있도록 보완 연구가 수행되어야 할 것이다.

전국의 절토사면을 5개의 유지관리 등급으로 분류하여 효율적인 유지관리로 절토사면 붕괴 예방 대책을 수립하고 위험절토사면 붕괴를 현 수준(25 개소 붕괴)에서 50% 수준으로 대처하고자 하며 이로 인해 2010년부터 절토사면 붕괴를 홍콩, 일본 등 선진국 수준으로 대처할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원 (2003), 2002 도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용, 건설교통부.
2. 배규진, 구호본, 백용 (2002), 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, 태풍 루사의 영향에 의한 사면 붕괴유형 및 특징, pp. 3-44.
3. 한국건설기술연구원 (2000), 산사태 발생 사례 및 대책방안, 한일건설기술워크샵 논문집, pp. 42-68.
4. ○○ 우회도로 건설공사 사면활동 원인 및 대책 검토, pp. 106~116
5. Evert Hoek, (1998), Analysis of rockfall hazards, Rock Engineering, pp. 115-136.
6. Hoek, E. & Bray, J (1981), Rock Slope Engineering, Revised Third Edition, Institute of Mining and Metallurgy, London.
7. Turner, A. K. 외 2인, "Landslides Investigation and Mitigation", Transportation Reserch council Board, Special Rep. 247, 1996, pp. 48-54.