

# LCC를 고려한 사면 위험도 평가 기법 연구

## A study on the Risk Assessment Technology of Slope Considering LCC

박미연\* · 이재성\*\* · 구소연\*\*\*

Park, Mi Yun · Lee, Jae Sung · Koo, So Yeun

### 1. 서론

도로 시설물의 이용자 안전성 및 편의성에 대한 요구수준이 높아짐에 따라 내구성 및 사용자 편의성 증대가 필요하며 이를 위해 초기공사비뿐 아니라 유지관리비용 투입이 지속적으로 증가되고 있는 추세이다. 특히, 사면의 경우 최근 지역적인 집중호우와 폭설 등 자연재해의 영향으로 사면 붕괴빈도가 증가하고 있으며, 사면 붕괴로 인한 유지보수 및 보강 등이 빈번히 발생하고 있다. 사면붕괴는 사면에서 풍화물질, 암석, 토석류 등이 중력 방향으로 이동하는 일련의 거동으로 정의되며 여러 요인의 복합적인 작용으로 발생한다. 사면 붕괴는 주요한 자연 재해 중의 하나로 매년 직접, 혹은 간접적으로 사회적, 경제적으로 많은 인명, 재산 피해를 유발 시킨다. 이러한 사면재해의 위험을 효과적으로 감소시키고 안전한 사면의 유지관리를 위하여 사면에 대한 설계 시공시의 안정성 평가와 지반특성, 사면형성각도 및 자연재해로 인한 지역적인 붕괴 빈도 등을 기초로 한 사면 위험도 차원의 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이를 위하여 사면의 상태를 평가할 수 있는 적절한 평가 기준이 필요하며, 이를 기반으로 피해사태 조사 등을 통하여 보수보강 순위 결정 등의 관리체계의 수준 향상을 기대할 수 있다.

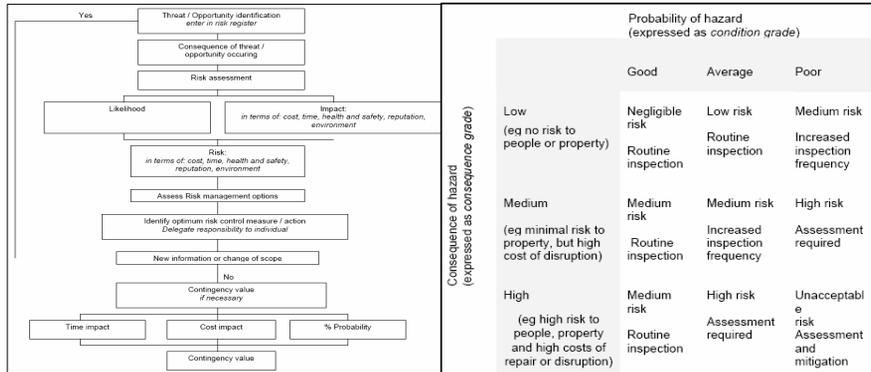


그림 1. 사면위험도 관리 전략 및 사면 위험단계별 전략 예

본 연구에서는 사면 안정성 평가를 위하여 적절한 기준을 제시하고자 위험도 분석 방법을 개발하여 사면 안정성 평가 기법을 제안하고자 하며, 한국도로공사의 사면관리시스템을 근거로 분석하여 위험도 분석 방안을 제시하고자 한다. 또한, 국내에 분포된 사면의 현황을 분석하고, 절토 사면 붕괴 현황을 연구하여 사면 유지관리의 효율성을 고려한 위험도 등급 설정 방안을 제시하도록 한다.

\* 비회원 · (주) 아이엠기술단 기업부설연구소 이사 · 공학박사(momo6238@hanmail.net) - 발표자

\*\* 비회원 · (주) 아이엠기술단 기업부설연구소 차장 · 공학석사(jsfactor@naver.com)

\*\*\* 비회원 · (주) 아이엠기술단 기업부설연구소 대리 · 공학석사(kitigu@hnamail.net)

## 2. 본 론

### 2.1 사면의 유지관리 이력 현황

사면의 경우, 자연재해로 인한 붕괴가 대부분이기 때문에 유지관리 차원의 일정주기나 반복성을 고려한 비용을 구축한다는 것은 거의 불가능하다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 사면위치 지역의 재해빈도, 암질 암종의 종류, 사면 안식각, 그리고 지역별 사면붕괴빈도 및 확률 등을 분석하여 이들 분석에 기초한 사면 위험도 관리를 위한 위험도 등급설정방안을 제시하고자 하였다.

### 2.2. 고속도로 절토 사면의 분포현황 및 재해 붕괴 현황

우리나라 5,809개소(2008년 말 현재) 절토 사면 분포에 있어 지역본부별로 살펴보면 경북지역본부, 강원지역본부, 경기지역본부, 충청지역본부, 경남지역본부, 호남지역본부 순으로 분포하는 것을 알 수 있다.

표 1. 절토사면 분포 현황

지역 본부명	총 개소	백분율
강원지역본부	1,322	22.76%
경기지역본부	627	17.18%
경남지역본부	760	11.41%
경북지역본부	1,439	24.77%
충청지역본부	998	13.08%
호남지역본부	663	10.79%
총합계	5,809	

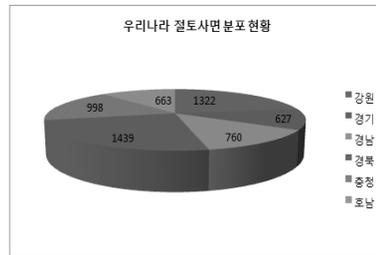


그림 2. 우리나라 절토사면 분포 현황

사면 붕괴의 주요 요인을 찾아 이런 지역에 대한 사면붕괴위험도의 가중치를 부여하여 사전예방 관리의 필요성을 알리고 합리적인 유지관리 위험도 비용을 결정하기 위해, 2000년 이후(2000~2007년간) 국내 발생한 사면 붕괴의 원인과 지역적인 붕괴 분포 현황을 조사하였다. 도로공사 지역본부별 사면 붕괴의 발생현황을 분석하였으며, 점검시기에 따른 절토사면 붕괴 현황을 분석을 살펴보면 재해발생 때 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 확인 할 수 있다.

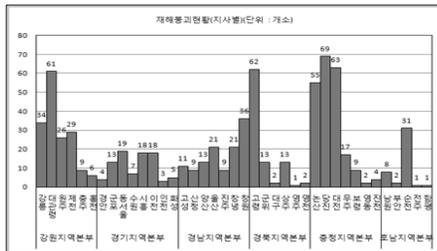


그림 3. 2000년 이후의 국내 자연재해로 인한 사면붕괴현황

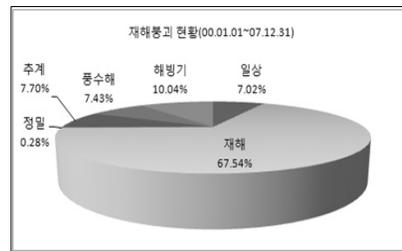


그림 4. 점검시기에 따른 절토사면붕괴현황

### 2.3 사면 유지관리 효율성을 고려한 위험도 등급 설정방안

사면 붕괴사례 및 특성을 기준으로 사면 위험도 판정 기준을 설정하여 설계 시공단계에서부터 사면 관리를 위한 방안을 구축하는 것이 중요하다는 것을 인식할 수 있었다. 특히, 사면은 시공단계에서의 사면 안정화 시기가 중요한데 국내의 경우 초기단계에서부터 상세한 사면의 조건을 근간으로 한 위험도 관리 기준이

정착되지 않아 붕괴사면지역의 암종 암질의 구성이 어떤지, 그리고 이런 지역의 보강공법으로는 어떤 형식이 적합하며 유지 관리 시는 무엇을 중점 관리해야 하는지 등의 구체적인 관리지침이 수립되어 있지 않다.

1) 기존 선행 연구 기관 별 평가 기법 현황

한국도로공사와 한국건설기술연구원에서는 아래 표와 같이 위험도 평가 요소를 선정 하여 위험도 평가 기법을 설정하였다.

항목	구분	배점			
사면형상 (50)	A. 사면높이 (30)	10m 이하 0 11~20m 10 21~30m 20 31m 이상 30			
	B. 사면경사 (20)	1:1.5 미만 0 1:1.5 ~ 1:1 미만 5 1:1 ~ 1:0.5 미만 10 1:0.5 ~ 1:0.3 미만 15 1:0.3 이상 20			
		C. 절리방향 (40)	절리불규칙 30 사면방향으로 경사진 절리 0 사면방향과의 차이: ±41° 이상 0 사면방향과의 차이: ±31° ~ ±40° 10 사면방향과의 차이: ±21° ~ ±30° 30 사면방향과의 차이: ±20° 40		
			D. 절리경사 (30)	사면안쪽방향으로 경사진 절리 0 (-45°)~(-90°) 30 퇴적암 층리면에 점토층전 0 ~ 10° 0 10° 이상 30	
				E. 풍화정도 (20)	사면방향으로 경사진 절리 0 사면경사가 1:0.5초과인 경우 0~30° 0 31~45° 20 45° 이상 40
	F. 암석종류 (30)				사면경사가 1:0.5이하인 경우 0~30° 0 31~45° 20 45~63° 30
					경암(신선암) 0
		연암(중간정도 풍화반출) 10			
		풍화암(거의 풍화반출) 15			
		토층, 핵석형 풍화 20			
	그외 0				
	퇴적암(세일, 사암, 석회암) 20				
	변성암(편마암, 편암 등) 30				

그림 5. 한국도로공사의 위험도 평가기법

위험도	위험도			
	10m 이하	20m 이하	30m 이하	30m 초과
붕괴높이	2	4	6	8
암종암질	0	1	3	5
절리면 경사	1:1.2(38%) 이하	1:1(45%) 이하	1:0.75(55%) 이하	1:0.5(63.4%) 이하
절리면 깊이	100m 이하	100~200m	200m 이상	
토속진도	0.5m 이하	0.5~1.0m	1.0~2.0m	2.0m 이상
지하수	건조	약습(취부)	습윤(중장부)	포화(중장부)
계곡부	불	불	4	6
습윤부	0	5		
암	0	5		
상부지연지연 경사	역주배(0) 수형(0)	20 이하	20 초과	
붕괴면적	없음	약속	있음	
절외의 불연속면	결동	층리	열림/일면	단층
도형(유지면만)	결동	결경부	사립부	회경입 풍파부
RMR	15~(RMR)값 × 1.13)			
인정해석	정면파괴 + 쉐어파괴 + 원소파괴	인장/NN	충인장	
붕괴면적	0	5		
붕괴면적	0	5		
원동면적	0	5		
위험구간비	20% 이하	20~50%	50% 이상	
중립 중요도	현장특유지	보통중립	보강중립	
결계면 보호공	있음/매체원보	부분 훼손	없음	
주요적 위험도(위험도)	결동	보통	위험	매우 위험
	0	3	6	10

그림 6. 한국건설기술연구원의 위험도 평가 기법

2) 사면 위험도 평가 기준 설정

본 연구에서는 붕괴 실험 이력 데이터를 분석하여 결보기 판단 기준에 의거하여 평가 요소를 선정 하였으며, 아래 표와 같이 사면의 위험도 평가 요소를 선정을 하여 분석을 수행하였다.

표 2. 사면의 위험도 평가요소 선정

구분	사면 위험도 평가 요소
사면형상	붕괴사면 높이, 붕괴사면 경사도
지질적 요인	암질, 암종, 불연속면
지역적 요인	지역별(지사별) 붕괴 내역
기후적 요인	재해원인, 강우량, 지역별강우에 따른 붕괴 빈도
기타	붕괴 이력

평가인자		기준	개소	가중치(%)	배점	평가인자		기준	개소	가중치(%)	배점
사면형상	붕괴사면 높이	1 - 10 m	95	25	13	지역적요인	지역별(지사별) 붕괴 내역	경기지역본부	627	11	5
		10 - 20 m	29	8	4			강원지역본부	1,322	23	10
		20 - 30 m	112	30	51			충청지역본부	998	17	7
		30 - 40 m	67	18	9			호남지역본부	663	11	5
		40 m 이상	72	19	10			경북지역본부	1,439	25	42
	붕괴사면 경사도	1 - 30 °	16	3	2	재해원인	일상강우	56	15	16	
		30 - 45 °	174	34	24		장마	221	61	104	
		45 - 60 °	208	41	70		태풍	89	24	25	
		60 ° 이상	115	22	16		0-50	9	2	2	
			15	3	2		50-100	52	12	12	
지질적요인	암질	화성암	7	10	15	기후적요인	강우량	100-150	67	16	16
		퇴적암	57	84	143			150-200	49	12	11
		변성암	4	6	8			200이상	247	58	99
		토사	348	82	139			경기지역본부	64	15	7
	암종	풍화암	63	15	21	지역별 강우에 따른 붕괴 빈도	강원지역본부	120	28	48	
		연암	3	1	1		충청지역본부	35	8	4	
		보통암	6	1	2		호남지역본부	44	11	5	
		경암	2	1	1		경북지역본부	77	18	9	
		단층	1	1	1		경남지역본부	84	20	10	
		암맥	1	1	1		붕괴가능 추정	54	13	19	
	불연속면	절리	17	6	11	기타	이력	붕괴발생	367	87	148
		층리	228	92	156			붕괴발생하지 않음	-	0	0

그림 7. 위험도 평가 요소 배점표

공용중인 사면의 실제 데이터를 지형적, 지반공학적, 환경 및 수리학적 분류를 통하여 분석하였으며, 각 요소별 가중치를 고려한 배점표를 작성 하였다. 또한 위험도 평가 요소로 도출된 주요 인자들과 지역별 위험도를 고려한 평가표를 작성하였다.

위험도를 낮음부터 높음으로 3가지 단계로 나누어, 지역적으로는 핵심지역, 주의지역, 일반지역으로 나누어 지역적으로 위험도를 선정하였다.

위험도 기준 설정	Low Risk Index		Medium Risk Index		High Risk Index	
	La	Lb	Ma	Mb	Ha	Hb
	0	166	333	499	666	833
	위험도 낮음			위험도 높음		
핵심지역	강원 경북					
주의지역	경남 경기					
일반지역	호남 충청					

그림 8. 위험도 평가 요소 기준 평가표

### 3. 결 론

본 연구는 사면에 대한 위험도 관리 기준 설정 방안을 제시하였다. 위험도의 관리는 지역별 평균 사면 붕괴 주기 등 하이포탈 내의 실측 데이터를 기반으로 하여, 지역적 붕괴 확률 및 사면 암질에 따른 지역적 붕괴확률 등을 분석하여 관리 기준을 제시하였다.

현재 사면에 대한 깊이 있는 연구가 많이 진행 되어 있지 않으므로, 본 연구를 바탕으로 하여 진보적이며 실용적인 사면의 위험도 분석 방안을 제시하고, 위험도를 기반으로 하여 사면의 유지관리 방안 및 기준을 제시할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단(건설핵심D05-01)을 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 김경수, 이춘오, 조용찬, 채병곤, 김원영, 송영석, 최영섭, 최정찬, “대도시 사면 통합관리시스템 구축(부산 지역)”, 한국지질자원연구원, 2007 KR-04(연차)-09, **과학기술부**, p 207
2. 김경수, 채병곤, 조용찬, 이춘오, 송영석, “대도시 사면관리프로그램 개발 및 적용”, **The Journal of Engineering Geology**, 2007. Vol.17, No.1pp.15-25
3. 한국도로공사, “사면안정처리공법에 관한 연구”, 1996
4. 안상로, 신창건, “국내·외 사면 유지관리 기술현황 및 개선방안”, **한진 건설기술** 2006. Vol. 40
5. 건설교통부, “도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용”, 2004
6. 국립방재연구소, “사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구”, 2004
7. 한국도로공사, “고속도로 절토사면 유지관리시스템 개발연구”, 2004
8. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin (1999), “A Life Cycle Cost Analysis of Rigid Pavements”, **Project Summary Report** 1739-S
9. WisDOT(Wisconsin Department of Transportation), (2004), “Pavement Service Life -rev.2”, **Transportation Synthesis Reports(TSRs)**