

토석류 재해 위험성 평가 방법의 비교 분석

Comparative Analysis on Methods for Evaluating Vulnerability of Debris Flow Hazard

조 정 하* 황 희 석** 유 남 재***
Joe, Jeong-Ha Hwang, Hui-Seok Yoo, Nam-Jae

Abstract

Different criteria for evaluating vulnerability of debris flow hazard proposed by various institutes such as Korea Forest Service(KFS), Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM), Ministry of Public Safety and Security (MPSS) and Korea Expressway Corporation (KEC) were reviewed and discussed. Assessment of debris flow hazard for natural slopes around land for house development was carried out on the basis of the report about results of performing in-situ survey. Results of evaluating vulnerability of debris flow hazard by using these methods were compared to each other to discuss appropriateness of their evaluation and to recommend improvement.

키워드 : 토석류 재해 위험성, 위험도평가방법, 현장답사
Keywords : *vulnerability of debris flow hazard, vulnerability evaluation methods, in-situ survey*

1. 서론

최근 기후변화로 인한 기상이변으로 대형태풍이나 국지성 집중호우의 발생 빈도 및 강도가 점차 증가하는 추세이다. 특히, 우리나라 국토는 대부분이 산지로 이루어져 있어, 집중호우 발생 시 산사태나 토석류의 발생 확률이 높아 자연재해에 취약하다. 2000년대 이후 이러한 국지성 집중호우의 증가로 산사태 및 토석류의 발생 빈도가 꾸준히 증가하여 피해 또한 매년 꾸준히 증가하고 있다.

최근 서울 도심 한복판에서 발생한 우면산 산사태(2011년 7월)는 집중호우로 인해 발생하였으며, 하루에 301.5 mm라는 기록적인 강우가 기록되면

서 우면산 주변에서 다발적인 토석류 산사태가 발생하여 도시 곳곳 주택 및 도로가 침수 및 많은 인명과 재산 피해가 발생하였다. 같은 해 춘천 천전리에서도 집중호우로 인해 많은 인명 및 재산 피해가 발생하였다. 이러한 국지성 집중호우로 인한 토석류 산사태에 대한 분석 및 연구를 통해 언제 어디서 발생할지 모르는 자연재해에 대한 대비가 필요하다.

일본의 경우 토사재해의 빈도와 규모가 증가하고 유형이 다양화되면서, 1897년 사방법 제정 이후, 1958년 땅밀림방지법, 1969년 급경사지 붕괴방지법 그리고 2000년 토사재해방지법을 제정하여 토사재해의 유형별, 대책사업 수단별로 각각의 토사재해 위험구역이 지정되고 관리체계가 중첩되도록 제도적 장치를 만들어왔다.

국내에서도 산림법, 사방사업법, 자연재해대책법 등을 통해 사면재해에 대비하고는 있지만, 사면재해를 예측하고 예방하기 위한 과학적인 측면의 접

* 강원대학교 산업대학원 토목공학과 석사

** 강원대학교 토목공학과 박사과정

*** 강원대학교 토목공학과 교수, 교신저자

근은 아직 부족한 실정이다.

본 논문에서는 토석류 사면재해와 관련된 현재의 연구동향과 각 기관별로 제시하고 있는 토석류 재해위험도 평가 방법을 소개하였다. 또한 각 기관별로 제시한 평가 방법을 OO지구 개발현장에 적용하여, 각 기관별 평가방법을 비교 분석하여, 현재 사면재해위험도 평가 방법에 대해 평가하고 향후 필요한 연구방향을 제시하였다.

2. 문헌고찰

2.1 사면재해의 정의

재난관리법에서 “재난”은 국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로서 자연재난: 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대발생, 조수(潮水), 화산활동, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해로 정의하였다.

사면재해는 호우시 자연사면의 불안정이나 인공사면의 시공불량 및 시설정비 미비, 유지관리 미흡 등으로 인해 발생하는 산지사면 붕괴 및 낙석에 의한 피해를 발생시키는 재해로 “사방사업법”에서 산사태는 자연적 또는 인위적인 원인으로 산지가 일시에 붕괴되는 것으로 정의하였고, 토석류는 산지 또는 계곡에서 토석 나무 등이 물과 섞여 빠른 속도로 유출되는 것으로 정의하였다(사방사업법 제2조 정의).

자연재해대책법 16조에 따라 자연재해의 대비 및 예방을 위해 5년 단위로 풍수해저감종합계획을 수립하도록 하고 있다. 인공급경사지(옹벽 및 축대 포함) 및 자연급경사지 붕괴와 그로 인한 2차 피해를 포함하는 사면재해를 7가지 풍수해 유형 중 하나로 정의하여 위험지구를 지정하고 있다(류지협, 2015).

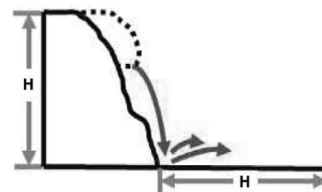
2.2 사면재해 관리지구 지정

사면재해 위험도 평가 및 위험 지구 개선방안을 마련하기 위해 국립방재연구원에서는 「도시계획수립시 풍수해저감을 위한 매뉴얼 개발(국립방재연구원, 2011)」을 통해 그림 1과 같이 비탈면의 경사와 높이에 따른 이격거리 및 영향권을 설정하는 방안을 제시하고 있다.

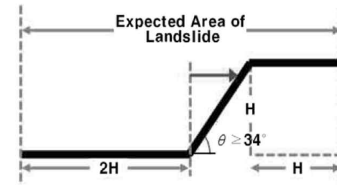
그림 1(a)에서 경사 34°이상의 낙석 우려지역은 급경사지 하부로 급경사지 높이의 영향권을 설정하며, 경사 34°이상의 위험급경사지로 지정한다. 그림 1(b)에서는 급경사지 하부로 급경사지 높이 2배의 영향권과 급경사지 상부로 급경사지 높이의 영향권을 설정한다. 또한, 경사 34°미만의 위험급경사지에서는 급경사지 하부로 급경사지 높이 1.5배의 영향권과 급경사지 상부로 급경사지 높이의

영향권을 설정한다.

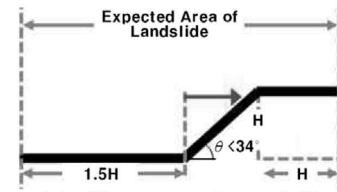
「자연재해위험개선지구 관리지침(2013.7.8.)」에서는 자연재해위험개선지구 정비사업의 투자우선순위 평가를 위해 객관적인 비용편익분석을 위한 기준을 정의하고 있다. 국내 사면재해 관리지구에 대한 최근 연구로 급경사지 관리체계에 대한 문제점 도출(김진환 등, 2013)이나 서울시도시안전 풍수해위험도 분석 및 우선순위 결정방법 연구(박승주 등, 2014), 급경사지 재해도 분석(최은경 등, 2009) 등을 수행하였으나, 개별 사면재해 위험·관리지구의 관리구역을 설정하는 방법이나 기준에 대한 연구는 미흡했던 것으로 판단된다(류지협 등, 2015).



(a) Slope Angle $\geq 34^\circ$: rock fall



(b) Slope Angle $\geq 34^\circ$



(c) Slope Angle $< 34^\circ$

그림 1 비탈면 경사와 높이에 따른 이격거리 및 영향권 설정방안

3. 기관별 사면재해 조사 및 평가방법

3.1 산림청 산림과학연구원

토석류 위험지 판정구분의 기준은 국립산림과학원에서 제작한 토석류 취약지역 판정표를 이용하였고, 토석류 발생위험등급은 1등급에서 4등급까지 구분하였다. 토석류 발생위험등급을 판정하기 위한 GIS 소프트웨어는 ESRI사의 ArcView GIS 9.0 Desktop 버전으로 최신 Service Pack 2를 사용하며, 각각의 수치지도의 레이어로부터 도출한 토석류 위험지 판정기준의 7개 인자를 토대로 한 토석류 위험도등급 구분은 조사대상 지점 각각의 인자별 점수의 가중치를 합산한 후 토석류 위험도 등급기준에 따라 토석류 위험도등급을 구분하였다. 산림청의 토석류 취약지역 판정표는 표 1과 같다.

표 1 토석류 취약지역 판정표(산림청, 2012)

조사항목	Category별 가중치				
	1	2	3	4	5
보호대상	일반 산지	재산 피해	인가 ~5 미만	인가 ~10	인가 10이상 또는 공공시설
	0	150	300	330	360
황 폐 발생원	산사태 위험지 3, 4등급만 있는 유역	산사태 위험지 2등급 50% 이하인 유역	산사태 위험지 2등급 50% 이상인 유역	산사태 위험지 1등급 이 있는 유역	
	0	80	96	112	
전석분포 비율(%)	10% 미만	10~20	20~30	30이상	
	0	10	40	18	
계류 상부 경사(°)	9 미만	9~13	14~18	19 이상	
	0	10	28	54	
총 계류 길이(m)	200 미만	200~500	500 이상		
	0	28	74		
계류 평균 경사(°)	5 미만	5~7	8~10	11~16	16 이상
	0	16	32	48	60
조사자의 점수보정	※ 보정인자 1. 조사자 또는 마을사람들이 토석류발생 위험지역이라고 생각함(+10) 2. 조사자 또는 마을사람들이 토석류발생 위험성이 전혀 없다고 생각함(-10) 3. 송전철탑 등 인위적 산림훼손지로 방치하거나 불안정한 방재 시설지(+20) 4. 과수원 및 초지단지, 유실조림지 등 지피 식생이 불완전한 산림(+20) 5. 산림이 도심지에 위치하여 토석류 발생시 피해 확산 위험이 있는 지역(+10)				

3.2 한국지질자원연구원

한국지질자원연구원 지질재해연구실에서는 주로 산사태 예측 및 방지기술의 연구와 산사태 위험도 산정시스템 및 피해저감 기술개발을 주로 수행하고 있으며 2009년 3월 발표된 「급경사지재해 취약성 평가표 개발」에 수록된 내용은 표 2와 같다.

표 2 다기준 의사결정 분석기법을 이용한 평가표

조사항목	Category별 가중치					
	Group	편마암	이암	화강암		
암질	Grade	1	2	3		
	Score	10	9	6		
	고도 (m)	Group	≥431	226~430	225이하	
고도 (m)	Grade	1	2	3		
	Score	10	9	6		
	사면경사 (°)	Group	≥27.1	23.1~27.0	19.1~23.0	15.1~19.0
Grade		1	2	3	4	5
Score		32	24	16	8	0
공극율 (%)	Group	≥80.1	75.1~80.0	67.1~75.0	46.1~67.0	≤46.0
	Grade	1	2	3	4	5
	Score	12	9	6	3	0
함수비 (%)	Group	≥40.0	30.0~39.9	20.0~29.9	10.0~19.9	≤9.0
	Grade	1	2	3	4	5
	Score	16	12	8	4	0
투수계수 (cm/sec)	Group	6.1×10 ⁻³ ~1.0×10 ⁻²	4.6×10 ⁻³ ~6.0×10 ⁻³	2.6×10 ⁻³ ~4.5×10 ⁻³	1.1×10 ⁻³ ~2.5×10 ⁻³	≤1.0×10 ⁻³
	Grade	1	2	3	4	5
	Score	20	15	10	5	0

3.3 국민안전처 (구 소방방재청) 국립방재 연구원

국민안전처의 재해 위험도 평가는 A, B, C, D, E로 구분된다. 재해위험도 평가표 작성시 급경사지의 높이, 경사도, 붕괴이력 등 붕괴위험성, 주변 환경, 공공시설 등과의 거리 등 사회적 영향, 재해 위험도 평가는 자연 비탈면, 인공 비탈면, 산지에 대하여 각각 재해위험도 평가표를 활용하거나 전문가가 직접 재해위험도평가를 실시할 수 있다.

재해위험도 평가를 실시한 결과, 재해위험도 등급은 A, B, C, D, E 등급으로 구분하고, 관리기관은 재해위험도등급이 D, E에 해당하는 급경사지는 즉시 붕괴위험지역으로 지정하여줄 것을 시장·군수·구청장에게 요청하여야 하며, 붕괴위험지역 정비 실시계획을 수립하여 붕괴위험해소를 위한 대책을 강구하여야 한다. 자연사면에 대한 재해위험도 평가표(방재저널 제47호, 한국방재협회)는 표 3

과 같다.

표 3 국민안전처 재해위험도 평가표

경사도		높이		토층심도		계곡폭	
구분(°)	배점	구분(m)	배점	구분(m)	배점	구분	배점
0~10	1	5 이하	1	0~20	1	3 이상	1
11~20	3	6~15	3	21~50	2	2~3	2
21~25	5	16~25	5	51~70	3	1~2	4
26~30	7	26~35	7	71~90	4	1 이하	5
31 이상	10	35 이상	10	91 이상	5	-	-
중단형상		횡단형상		계곡 연장		계곡 유·무	
구 분	배점	구 분	배점	구분(m)	배점	구분	배점
철형	1	하강형	1	0~10	1	없음	1
직선형	2	평행형	2	11~30	2		
요형	4	상승형	4	31~50	4	있음	5
복합형	5	복합형	5	50 이상	5		
인공구조물		보호시설상태		주변환경			
구분(m)	배점	구분	배점	구분		배점	
0~20	1	양호	1	임야·공원시설 등		3	
21~50	2	불량	2				
51~70	3	매우불량	4	택지·도로·철도 등		5	
71~90	4	무	5				
인가호수(가구)		붕괴이력		인가공공시설 등과의 거리			
구 분	배점	구 분	배점	구분(m)		배점	
0	1	무	1	100이상		1	
1~5	10	유	5	100~50		3	
5이상	15			50~30		7	
				30이내		10	
지하수 상태							
구 분		판단기준		배점			
완전배수		마른 상태		1			
적음		물기흔적(검은색 표면, 이끼류 등)이 관찰되는 경우		2			
보통		물기가 표면에 관찰되는 경우		3			
많음		물줄기가 눈에 보이지 않고, 물이 떨어지는 경우		4			
매우 많음		물줄기가 눈에 보이는 정도의 흐름		5			
자연 비탈면에 대한 재해위험도 평가표							
구 분		판단기준			배점		
		자연 비탈면	인공 비탈면	옹벽 및 석축			
A	0~20	0~20	0~20	0~20	위험성 거의 없음		
B	21~40	21~40	21~40	21~40	위험성 없음		
C	41~60	41~60	41~60	41~60	존재하지만 미약		
D	61~80	61~80	61~80	61~80	높음		
E	81 이상	81 이상	81 이상	81 이상	매우 높음		

3.4 한국도로공사

한국도로공사의 토석류 조사는 기초 조사자료를 토대로 상세조사구역을 선정하고, 조사대상지역의 지형 및 지질도, 산사태등급분석에 필요한 자료를 수집·분석하여 개략적인 현장상황 파악을 위한 사전답사 자료 및 상세조사 범위 선정에 필요한 자료 제공하고 있다. 토석류에 대한 위험평가표는 표 4와 같다.

표 4 위험평가표

항목구분			배점기준	
			배점구간	배점
재해 점수 (20 점)	토석류 발생 가능 여부 (10점)	① 유역평균 지형경사(단위: °)	35°이상	5
			30°이상35°미만	4
			25°이상~30°미만	3
			20°이상~25°미만	2
			15°이상~20°미만	1
		15°미만	0	
		② 35°이상 지형면적비율(단위: %)	40%이상	5
			30%이상~40%미만	4
			20%이상~30%미만	3
			10%이상~20%미만	2
1%이상~10%미만	1			
1%미만	0			
재해 점수 (20 점)	토석류 이동 가능성 (10점)	③ 유역내 최장 계곡의 평균경사 (단위: °)	25°이상	5
			20°이상~25°미만	4
			15°이상~20°미만	3
			10°이상~15°미만	2
			5°미만~10°미만	1
		5°미만	0	
		④ 최장계곡 중 15°이상구간의 길이비율 (단위: %)	90%이상	5
			70%이상~90%미만	4
			50%이상~70%미만	3
			30%이상~50%미만	2
10%이상~30%미만	1			
10%미만	0			

항목구분			배점기준	
			배점구간	배점
취약 점수 (10 점)	토석류 퇴적 가능성	⑤ 도로측면의 퇴적공간(단위: m ³)	퇴적공간 없음	5
			퇴적공간 부족(100미만)	4
			퇴적공간 보통(1,000미만)	3
			퇴적공간 여유(5,000미만)	2
			퇴적공간 충분(10,000미만)	1
			퇴적공간 초과(10,000이상)	0
			절토부도수로	5
			횡배수관 D1,200이하	4
			수로박스 B2.0×2.0이하	3
		⑥ 배수시설물 규격(단면크기)	수로박스 B4.0×4.0이하	2
			수로박스 B4.0×4.0초과 ~ 통수단면 30m ² 미만	1
			소교량 (30m ² 초과)	0

유역평면도에서 분류한 지역의 유역면적과 유역 경사 그리고 각 지역에 설치된 배수시설에 대한 상세조사 결과는 표 5와 같다.

표 5 구간별 일반현황

구간	유역 면적(km ²)	유역 평균경사(°)	시설물 현황
구간 1	1-1	0.009	17.4 배수관φ1,000, 수로
	1-2	0.015	20.6 배수시설1.0×1.0, 수로
구간 2	0.017	19.7	배수시설1.0×1.0, 수로
구간 3	3-1	0.005	18.3 수로
	3-2	0.006	17.9 집수정, 수로
구간 4	0.007	19.2	배수관φ1,000, 배수시설1.0×1.0, 수로

1-1 구간의 유역면적은 0.009 km²로 계류의 길이는 66.5 m로 나타났다. 유역평균 경사는 17.4°, 계류의 평균 경사는 11.4°로 전반적으로 계곡 깊이가 낮고 넓은 지역의 능선부에 생성된 소계곡부로 전반적으로 완만한 형상을 이루고 있다. 표 6은 1-1구간에 대하여 4기관의 평가기준에 의하여 토석류에 의한 취약성 평가 종합 분석 결과이다. 산림청과 국민안전처에서는 발생가능성이 높은 것으로 분석되었으며, 지질자원연구원은 보통, 한국도로공사는 발생가능성이 낮은 것으로 나타났다. 산림청의 경우 인가 10이상이라는 점과 계곡 상부의 경사가 14°라는 점에서 높은 점수를 받아 높게 나타났다. 조사자의 소견은 발생위험성이 없는 것으로 관찰되었다. 국민안전처 역시 인가와와의 근접성 때문에 높은 점수로 평가되었다. 도로공사의 평가에서는 퇴적공간 확보가 필요한 것으로 평가되었다.

4. 사면재해 위험성 조사사례 분석

OO지구에서 실시한 사면재해 위험성 분석 보고서(셀파이엔씨, 2004)의 자료를 토대로 사면재해 발생 가능성 예측과 각 기관별로 제시하는 평가표의 내용을 비교 분석하였다. 먼저 산림청에서는 GIS기법을 이용하여 산사태 위험지 판정기준 및 각 인자별 점수표에 근거하여 산사태위험도 등급을 산정하였으며, 한국지질자원 연구원 지질재해연구실에서 제시한 평가표를 기준으로 현장조사를 수행하였으며, 국민안전처의 국립방재연구소에서는 급경사지 자연비탈면 재해위험도 평가항목(15가지)을 기준으로 재해위험도를 평가하였다. 그림 2는 개발이 예정된 OO지구의 평면도이다.

표 6 1-1구간에 대한 종합 분석 결과

구간	산림청	지질자원 연구원	국민 안전처	한국도로 공사
등급 및 점수	2등급	34	D등급	D등급
발생가능성	높음	보통	높음	낮음



그림 2 유역평면도

1-2 구간의 유역면적은 0.015 km²로 계류의 길이는 83.4 m로 나타났다. 유역평균 경사는 20.6°, 계류의 평균 경사는 11.6°로 전반적으로 계곡 깊이가 낮고 넓은 지역의 능선부에 생성된 소계곡부로 구성되어 있어서 전반적으로 완만한 형상을 이루고 있다. 분석결과, 산림청과 국민안전처에서는 발생가능성이 높은 것으로 나타났으며, 한국도로공사는 발생가능성이 있는 것으로 평가되었으며, 지질자원연구원은 보통으로 분석되었다. 앞서 설명한 바와 같이 산림청의 경우 인가 10이상이라는 점과 계곡 상부의 경사가 17°라는 점에서 높은 점수를 받아 높게 평가되었으나, 현장 조사자의 소견은 발

생위험성이 없는 것으로 제안되었다. 국민안전처 역시 인가와와의 거리때문에 높은 점수로 평가되고 발생가능성이 높은 것으로 분석되었다. 도로공사의 평가에서는 퇴적공간 확보와 배수시설의 용량 증가가 필요한 것으로 나타났으며, 1-1구간에 비해 유역의 경사와 계류의 경사가 큰 것으로 조사되어 발생가능성이 있는 것으로 나타났다.

표 7 1-2구간에 대한 종합 분석 결과

구간	산림청	지질자원 연구원	국민 안전처	한국도로 공사
등급 및 점수	2등급	42	D등급	C등급
발생가능성	높음	보통	높음	있음

2 구간의 유역면적은 0.017 km^2 로 계류의 길이는 132.7 m로 나타나 가장 긴 구간이다. 유역평균 경사는 19.7°, 계류의 평균 경사는 14.0°로 전반적으로 계곡 깊이가 낮고 넓은 지역의 능선부에 생성된 소계곡부로 구성되어 있어서 전반적으로 완만한 형상을 이루고 있다. 분석 결과, 산림청과 국민안전처에서는 발생가능성이 높은 것으로 나타났으며, 한국도로공사는 발생가능성이 있는 것으로 평가되었고, 지질자원연구원은 보통으로 분석되었다. 앞서 설명한 바와 같이 산림청의 경우 인가 10이상이라는 점과 계곡 상부의 경사가 15°~18°라는 점에서 높은 점수를 받았으나, 조사자는 발생위험성이 없는 것으로 의견제시하였다. 국민안전처 역시 인가와와의 근접거리로 높은 점수를 받아 발생가능성이 높은 것으로 분석되었다. 도로공사의 평가에서는 퇴적공간 확보와 배수시설의 용량 증가가 필요할 것으로 나타났으며, 1 구간에 비해 유역의 경사와 계류의 경사가 큰 것으로 나타나 발생가능성이 있는 것으로 나타났다.

표 8 2구간에 대한 종합 분석 결과

구간	산림청	지질자원 연구원	국민 안전처	한국도로 공사
등급 및 점수	2등급	42	C등급	C등급
발생가능성	높음	보통	미약	있음

3-1 구간의 유역면적은 0.005 km^2 로 계류의 길이는 41.6 m로 나타났다. 유역평균 경사는 18.3°, 계류의 평균 경사는 10.5°로 전반적으로 풍화대가 깊게 분포하며 계곡부 일부구간에서 전석 및 고사목 분포한다. 계곡 폭은 4~10 m로 상부로 갈수록 좁아지는 경향을 보이며 직선형이다. 계곡 경사는 6~12°로 분포하며 15°이상의 경사는 8.7%로 계곡의 경사는 전반적으로 완만하며, 기반암은 화강암이 분포한다. 분석결과, 산림청과 국민안전처에서는 발생가능성이 높은 것으로 나타났으며, 한국도로공사는 발생가능성이 있는 것으로 나타났으며,

지질자원연구원은 보통으로 나타났다. 앞서 설명한 바와 같이 산림청의 경우 인가 10이상이라는 점과 계곡 상부의 경사가 15°~18°라는 점에서 높은 점수를 받아 높게 평가되었으며 국민안전처 역시 인가와 인가와와의 거리에서 높은 점수를 받아 발생가능성이 높게 분석되었다. 도로공사의 평가에서는 퇴적공간 확보와 배수시설의 용량 증가가 필요 할 것으로 나타났으며, 계류에 15°이상의 계곡이 없는 것으로 나타났다.

표 9 3-1구간에 대한 종합 분석 결과

구간	산림청	지질자원 연구원	국민 안전처	한국도로 공사
등급 및 점수	2등급	34	D등급	D등급
발생가능성	높음	낮음	높음	낮음

3-2 구간의 유역면적은 0.006 km^2 로 계류의 길이는 63.5 m로 나타났다. 유역평균 경사는 17.9°, 계류의 평균 경사는 10.9°이다. 계곡 폭은 1~4 m로 상부 계곡부에서 좁은 폭의 계곡형성 및 직선형을 보이며, 계곡 경사는 6~12°로 분포하며 15°이상의 경사는 0%로 계곡의 경사는 전반적으로 완만하다. 기반암은 화강암이 분포하고, 계곡 기슭은 대부분 토사의 풍화대로 이루어지며 계상에는 자갈섞인 실트질 모래가 퇴적되었다. 분석결과, 산림청과 국민안전처에서는 발생가능성이 높은 것으로 나타났으며, 한국도로공사는 발생가능성이 있는 것으로 나타났으며, 지질자원연구원은 보통으로 나타났다. 앞서 설명한 바와 같이 산림청의 경우 인가 10이상이라는 점과 계곡 상부의 경사가 15°~18°라는 점에서 높은 점수를 받아 높게 나타났으며, 조사자는 발생위험이 없는 것으로 평가하였다. 국민안전처 역시 인가와와의 근접성으로 높은 점수를 받아 발생가능성이 높게 분석되었다. 도로공사의 평가에서는 퇴적공간 확보와 배수시설의 용량 증가가 필요 할 것으로 나타났으며, 유역경사가 35°, 계류에 15°이상의 경사가 없는 것으로 나타났다.

표 10 3-2구간에 대한 종합 분석 결과

구간	산림청	지질자원 연구원	국민 안전처	한국도로 공사
등급 및 점수	2등급	34	D등급	D등급
발생가능성	높음	낮음	높음	낮음

4 구간의 유역면적은 0.007 km^2 로 계류의 길이는 116.7 m로 나타났다. 유역평균 경사는 19.2°, 계류의 평균 경사는 16.3°이다. 계곡 상부의 계곡 폭은 2~6 m로 계곡 상부 유하구간에서 비교적 급한 경사를 이루며 직선형을 보이며, 계곡 경사는 6~

30°로 분포하며 15°이상의 경사는 57.5%로 퇴적구간과 유하구간이 반복된다. 기반암은 화강암이 분포하고, 계곡 기슭은 대부분 토사의 풍화대로 이루어지며 계상에는 부분적으로 자갈섞인 실트질 모래가 퇴적되었다. 분석결과, 산림청과 국민안전처에서는 발생가능성이 높은 것으로 나타났으며, 한국도로공사는 발생가능성이 있는 것으로 나타났으며, 지질자원연구원은 보통으로 나타났다. 앞서 설명한 바와 같이 산림청의 경우 인가 10이상이라는 점과 계곡 상부의 경사가 15°~18°라는 점에서 높은 점수를 받아 높게 나타났으며, 조사자는 발생위험성이 전혀 없는 것으로 평가하였다. 국민안전처 역시 인가와와의 근접성으로 높은 점수로 평가되었다. 도로공사의 평가에서는 퇴적공간 확보와 배수 시설의 용량 증가가 필요 할 것으로 나타났으며, 계류의 평균경사 및 15°이상의 계곡비가 다소 높게 나타나 발생가능성이 있는 것으로 나타났다.

표 11 4구간에 대한 종합 분석 결과

구간	산림청	지질자원 연구원	국민 안전처	한국도로 공사
등급 및 점수	2등급	34	D등급	C급
발생가능성	높음	보통	높음	있음

각 기관별 평가기준으로 산림청의 판정결과 보호대상에서 인가 10 이상의 인자의 배점이 높게 작용하였고, 계류상부의 경사가 다소 높게(14°~18°)로 나타나 모든 지역에서 발생가능한 지역으로 나타났다. 국민안전처 기준에서도 모든 지역에서 발생가능하다고 나타났으며, 이는 인가호수와 인가와와의 근접성때문에 높은 배점을 받았기 때문인 것으로 분석되었다. 지질자원연구원이거나 한국도로공사의 경우 그 지역의 지형이나 지질 구조에 초점을 맞춰 평가하기 때문에 한 개의 구역을 제외하고는 발생가능성이 없는 것으로 나타났다.

산림청이나 국민안전처에서는 발생가능성 보다는 발생시에 대한 피해규모에 가중치를 주어 토석류의 발생 및 진행 등의 체계적인 공학적 접근이 한국도로공사의 평가법에 비하여 다소 떨어진다고 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 토석류 산사태 발생 위험도 평가 방법의 적정성을 판단하기 위하여 택지 개발을 위한 지구에 위치한 인접사면에 대한 위험도 평가를 수행하였다. 위험도 평가는 산림청, 지질자원연구원, 국민안전처(구 소방방재청), 한국도로공사 등 4기관에서 제시한 평가기준을 사용하여 위험도 평가를 수행하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 지질자원연구원에서 제시한 토석류 위험

도 평가는 유발인자에 가중치를 두었으며 한국도로공사는 토석류 발생 및 유하특성에 가중치를 부여함으로써 공학적 판단에 중점을 둔 반면에 산림청 또는 국민안전처에서는 피해 대상에 상대적 가중치를 두어 인가 및 시설물의 위치 여부에 따라 안정성 평가 결과에 큰 영향을 미칠 수 있었다.

둘째, 한국도로공사 제안 토석류 산사태 분석표는 제시된 기존의 방법 중 가장 체계적인 것으로 판단되나 보다 과학적인 접근방법과 구체화된 현장조사방법 및 평가방법 개발을 통해 사면재해 발생가능성 예측에 대한 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 현재 평가방법은 각 기관별로 각 기관의 특성을 반영하여 제시된 것으로 판단되나 각 기관별 전문가들의 협의와 타 기관의 의견을 종합하여 보다 구체적이고 다양한 조건을 고려할 수 있는 위험도 평가기법 개발이 필요한 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 국립방재연구원, “토석류의 발생작용 및 피해 저감에 관한 연구”, 행정자치부, 2004.
- [2] 국립방재연구원, “도시계획 수립시 풍수해저감을 위한 매뉴얼 개발”, 행정자치부, 2011.
- [3] 김부생, “급경사지 안전점검 및 재해위험도 평가기법”, *한국방재학회 방재저널*, 제47호, pp.94-121, 2014.
- [4] 김진환, 권오일, 백용, “급경사지 방재를 위한 지반정도 활용방안에 관한연구”, *한국방재학회 학술발표논문집*, pp.546-549, 2013.
- [5] 남양주 별내 푸르지오 신축공사, 토석류 및 수방대책 검토 보고서, 셀파이엔씨, 2014.
- [6] 류지협, 서상훈, “사면재해 관리구역 설정에 관한 연구”, *한국방재학회*, 제15권, pp.161-168, 2015.
- [7] 박승주, 심숙연, 공정식, 이정렬, “서울시 도시 안전 풍수해 위험도 분석 및 대책 우선순위 결정방법 연구”, *한국방재학회 학술발표논문집*, pp.123-123, 2014.
- [8] 산림청, “<http://www.forest.go.kr>”,
- [9] 오경두, 허재영, 류지협, 이창희, “지반재해위험지도 활용 소개”, 2015.
- [11] 최은경, 김성욱, 김상현, 박덕근, 오정림, “급경사지 재해도 분석”, *한국지반공학회 춘계학술대회*, pp.930-939, 2009.
- [12] 채병곤, 조용찬, 송영석, 서용식, “AHP 분석 기법을 이용한 급경사지재해 취약성 평가표 개발”, *대한지질공학회*, pp.99-108, 2009.