

AHP를 이용한 도로절토사면의 조사우선순위 결정을 위한 평가모델 개발에 관한 연구

A Study on Evaluation Model Development for Investigation Priority Decision for Road Cutting Slopes Using Analytic Hierarchy Process

신 창 건* 성 현 중** 이 송***
Shin, Chang-Gun Sung, Hyun-Jong Lee, Song

Abstract

Currently, each managing agencies are enforcing the maintenance against the cutting slopes, but the universality and objectivity are insufficient, because the evaluation item and model are various, the access method is not mutual-supplementary. Consequently, this study will lead the approach for a rational model development, by the analysis against the existing cutting slope evaluation technique, excavate a collapse primary reason and a factor, by the collapse example analysis, and make out evaluation table to decide a investigation priority of the existing cutting slope in the Investigation · Evaluation step using AHP

요 지

현재 각 관리 주체별로 절토사면에 대한 유지관리를 시행하고 있으나 평가항목 및 평가모형이 다양하고 접근방법이 상호보완적이지 못하므로 보편성 및 객관성이 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 기존 절토사면 평가기법에 대한 분석을 통하여 합리적인 모형개발을 위한 접근을 시도하고 붕괴사례 분석을 통하여 붕괴 주요원인 및 인자를 발굴하고 이를 계층분석기법(AHP)을 이용하여 기존 절토사면의 조사·평가단계에서 조사우선순위를 결정하기 위한 평가표를 작성하였다.

Keywords : Analytic hierarchy process, Cutting slopes, Investigation priority

핵심 용어 : 계층분석기법, 절토사면, 조사우선순위

* 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사수료

** 정희원, 한국시설안전공단 기술개발실 팀원

*** 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수, 교신저자

E-mail : cgshin@kistec.or.kr 011-762-8902

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근까지 조사된 절토사면의 현황은 고속국도의 경우 약 3,000개소, 일반국도는 약 20,000개소, 지방도는 약 4,000개소로 조사되었으나 향후, 도로신설, 편입, 확장, 주택 150만호 건설 및 단지개발 등의 원인에 의해 증가될 추세이다. 이러한 상황에 최근의 기상이변 및 집중강우에 따른 사면붕괴 및 토사유출에 따른 2차적 피해등 재해규모의 대형화와 인구밀집에 따른 피해규모의 증가를 사전적 예방차원에서 관리하고 조절할 수 있는 시스템의 반영은 절실한 것이며, 일부 진행중이기도 한다. 현재 각 관리 주체별로 절토사면에 대한 유지관리를 시행하고 있으나 평가항목 및 평가모형이 다양하고 접근방법이 상호보완적이지 못하므로 보편성 및 객관성이 부족한 실정이다. 따라서, 기존 절토사면 평가기법에 대한 분석을 통하여 합리적인 모형개발을 위한 접근을 시도하고 붕괴사례 분석을 통하여 붕괴 주요원인 및 인자를 발굴하고 이를 계층분석기법(AHP)을 이용하여 기존 절토사면의 조사우선순위를 결정하기 위한 평가표를 결정하고자 한다.

1.2 연구방법

본 연구는 AHP에 대한 이론적 고찰과 기존 절토사면 평가기법에 대한 국내·외 10여개 기관의 평가기법 분석 및 기준의 다양한 국도면 절토사면 붕괴사례 분석을 통한 붕괴 주요인자 발굴 등을 실시하고, 기존 절토사면의 조사·평가단계 조사우선순위 개발을 위하여 AHP방법을 활용하였다. 이를 위하여 전문가 설문 조사를 통한 평가항목별 가중치 산출 및 조사우선순위를 결정하기위한 조사평가표 작성이 필요하다. 먼저, 가중치 산출을 위한 전문가 조사는 사면유지관리 종사자를 전문가 그룹으로 설정하여 이들 중 120명 내외로 임의 추출하고 우편조사를 실시하여 반영하였다. 또한, AHP 모형 정산은 기존에 개발된 프로그램을 이용하여 실시하였다.

2. AHP 개요

2.1 기본개념

AHP는 계층분석방법 또는 계층분석과정 이라고 하며, Tomas. L. Saaty에 의해 1960년대에 처음으로 개발된 기법으로 복수의 판단기준을 토대로 하여 몇 개의 안 중에서 최선의 안을 선택하는 의사결정기법이다. AHP는 각 기준에 관련된 대안들의 선호도 뿐만 아니라, 전체적인 목표에의 기여도 관점에서 각 기준들의 상대적 중요도에 관한 의사결정자의 판단에 기초하여 결정하며, 이 판단은 의사결정자의 지식과 경험, 객관적인 자료 등에 근거하여 내릴 수 있다. AHP는 복잡한 문제를 단순한 과정으로 분석할 수 있게 하여 준다.

2.2 분석과정

본 연구에 적용된 AHP기법의 분석과정은 Fig. 1과 같으며, Fig. 1을 간략하게 설명하면, 우선 사면붕괴 주요원인에 대한 가중치를 평가하기 위해서 목표를 설정

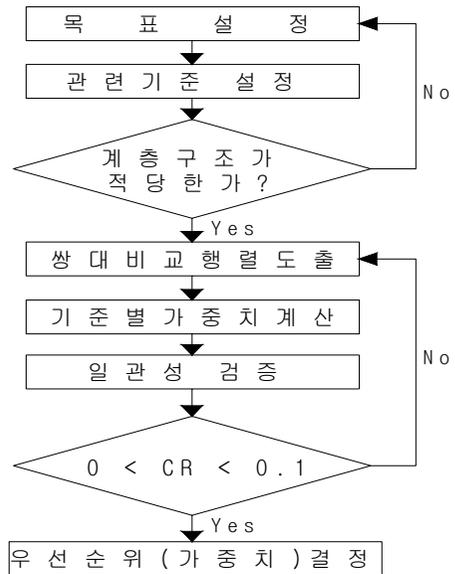


Fig. 1 AHP 분석과정

3.3 전문가 설문조사

설문조사 응답자가 본 연구를 위한 설문내용에 대한 이해가 부족하거나 직접적인 이해 관계자일 경우에 객관적인 결과 도출이 어렵기 때문에 설문 응답자는 연구원(관련기관), 공무원(국도유지관리 유경험자), 엔지니어(기술사회회원), 건교부 사면 안전진단 자문위원 중 사면유지관리 종사자를 전문가 그룹으로 설정하여 이들 중 임의 추출하여 방문, 메일 및 우편조사 방식으로 설문조사를 실시하였다.

3.4 평가항목별 가중치 분석

가중치 분석을 위한 설문조사는 2007년 5월~7월 사이에 실시하였으며, 직접방문 및 설문지상에 충분한 설명을 하여 120부를 배포하였으며, 그 중 비밀관성 비율(CR)이 0.1~0.2값을 만족하는 60부를 분석대상으로 삼았다.

설문 대상자의 분포 및 경력분포는 Table 3~4와 같으며, 설문 대상자별 전문분야는 68.33%가 지반을 전문분야로 하고 있으며, 도로, 구조, 수리수문 등의 순서를 나타내고, 경력은 55.00%가 10년 이상의 경력을 지니고 있는 것으로 나타났다.

Table 3 설문대상자 분포

분 야	설문자수	비 율
도 로	11	18.33
교 통	-	-
지 반	41	68.33
수리수문	3	5.00
시 공	-	-
환 경	-	-
구 조	5	8.33
기 타	-	-
계	60명	100%

Table 4 설문대상자 경력 분포

활동경력 (해당분야)	설문자수	비 율
3년미만	10	16.67
3~5년	3	5.00
5~10년	14	23.33
10년이상	33	55.00
계	60명	100%

사면붕괴 주요원인에 대한 평가항목별 가중치 분석 결과는 Fig. 3~9와 같다.

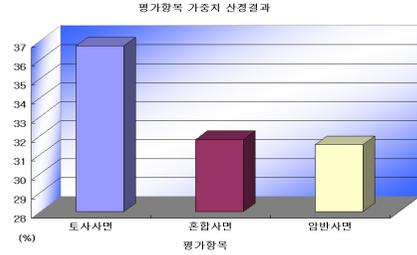


Fig. 3 1단계 평가항목 가중치 분석

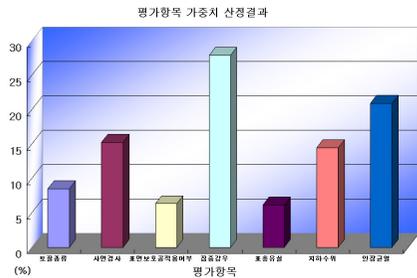


Fig. 4 2단계 평가항목(토사사면) 가중치 분석

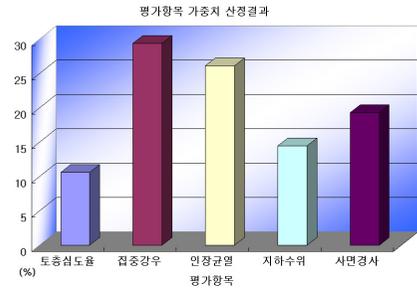


Fig. 5 2단계 평가항목(혼합사면) 가중치 분석

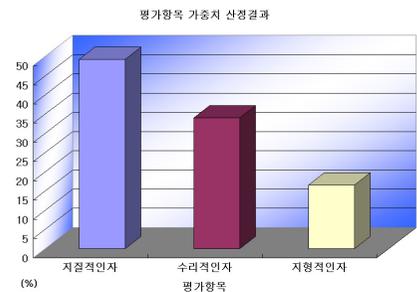


Fig. 6 2단계 평가항목(암반사면) 가중치 분석

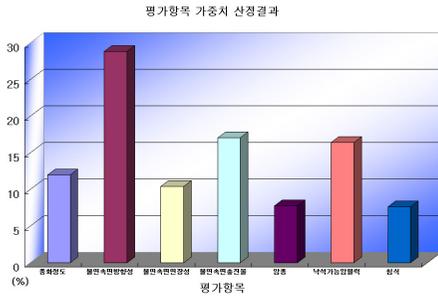


Fig. 7 3단계 평가항목(지질적인자) 가중치 분석

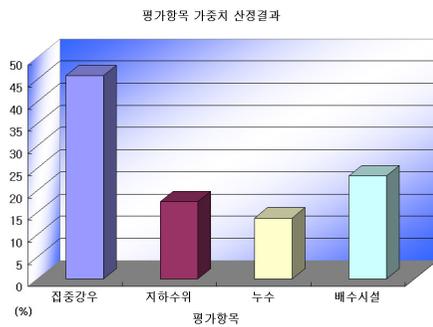


Fig. 8 3단계 평가항목(수리적인자) 가중치 분석

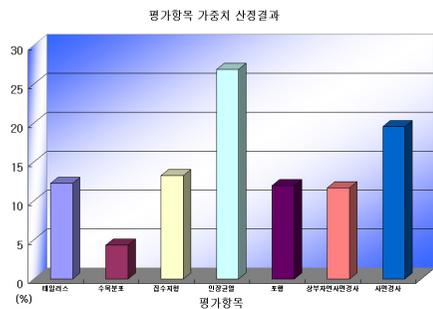


Fig. 9 3단계 평가항목(지형적인자) 가중치 분석

그러나 1단계로 분류한 토사, 혼합, 암반사면은 각각의 재료특성별 붕괴양상이 상이하고, 거동 또한 차이가 있으므로 서로 비교하는 것은 타당치 않은 것으로 판단되어 토사, 혼합, 암반사면으로 분류된 각각의 사면별로 가중치를 반영하였다. 한편, 각각의 사면 종류별 하위평가항목 중 집중강우, 불연속면의 방향성, 인장균열 항목이 상대적으로 높은 가중치를 나타내고 있다.

Table 5 전체 가중치 분석결과

기준	붕괴원인에 대한 평가항목					
	1단계 평가항목	2단계 평가항목	3단계 평가항목	가중치 비율	합계	
목표	토사 사면	토질종류	-	0.09	1.0	
		사면경사	-	0.15		
		표면보호공 적용여부	-	0.06		
		집중강우	-	0.28		
		표층유실	-	0.06		
		지하수위	-	0.14		
	혼합 사면	인장균열	-	0.21	1.0	
		토층심도율	-	0.11		
		집중강우	-	0.29		
		지하수위	-	0.15		
	암반 사면	지질적 인자	사면경사	-	0.19	1.0
			풍화정도	0.12	1.0	
불연속면의 방향성			0.29			
불연속면의 연장성			0.10			
불연속면(틈새) 충전물			0.17			
암종			0.08			
낙석가능 암블럭			0.16			
침식		0.08				
수리적 인자		집중강우	0.46	1.0	0.34	
		지하수위	0.17			
	누수	0.14				
지형적 인자	배수시설	0.23	1.0	0.17		
	테일러스	0.12				
	수목분포	0.04				
	집수지형	0.13				
	인장균열	0.27				
	포행	0.12				
	상부자연사면경사	0.12				
사면경사	0.20					

4. AHP(Analytic Hierarchy Process)를 활용한 붕괴위험 사면에 대한 조사·평가단계 조사우선순위 결정을 위한 평가표

사면붕괴를 사전에 예측하고 사면붕괴 방지대책을 체계적으로 수립하기 위해서 우선, 사면붕괴 주요원인

에 대한 가중치를 산정하였으며, 각각의 사면붕괴 원인 별로 위험수준을 평가하기 위한 평가표를 작성하였다.

평가표를 작성하기 위한 각각의 평가항목에 대한 등급은 다양한 사면붕괴 현장자료, 기존 사면조사시 적용되고 있는 각종 지침서⁽⁸⁾ 및 도로 절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용연구⁽¹⁾, 강릉시 지방도 위험사면 평가 시범사업 보고서(국립방재연구소, 2004) 등을 분석하고, 일부의 경우에 대하여 수치해석 등을 통해 산정하였으며, 배점은 가중치를 등급에 따라 등분하여 적용하였다. 사면 종류별 평가표는 다음과 같다.

Table 6 토사사면 평가표

항 목	가중치	구 분	배 점	
토사 사면	토질 종류	점토	0	
		점성토	2.25	
		사질토	4.50	
		화강암풍화토	6.75	
		붕적토	9.00	
		30°미만	0	
	사면 경사	15	30°이상~32°미만	3.75
			32°이상~49°미만	7.50
			49°이상~60°미만	11.25
			60°이상	15.00
	표면 보호공 적용 여부	6	샷크리트 및 석장공	0
			식생양호	1.50
식생보통			3.00	
식생불량			4.50	
집중 강우	28	0mm/day	0	
		0mm/day초과~50mm/day미만	7.00	
		50mm/day이상~100mm/day미만	14.00	
		100mm/day이상~150mm/day미만	21.00	
		150mm/day이상	28.00	
표층 유실	6	양호	0	
		보통	3.00	
		불량	6.00	
지하 수위	14	완전건조	0	
		포화도 0%이상~31%미만	3.50	
		포화도 31%이상~52%미만	7.00	
		포화도 52%이상~100%미만	10.50	
인장 균열	21	완전포화	14.00	
		없음	0	
		1mm미만	5.25	
		1mm이상~5mm미만	10.50	
		5mm이상~50mm미만	15.75	
		50mm이상	21.00	

Table 7 혼합사면 평가표

항 목	가중치	구 분	배 점	
혼합 사면	토층 심도율	11	0.5m미만	0
			0.5m이상~1.0m미만	3.67
			1.0m이상~2.0m미만	7.34
			2.0m이상	11.00
	집중 강우	29	0mm/day	0
			0mm/day이상~50mm/day미만	7.25
			50mm/day이상~100mm/day미만	14.50
			100mm/day이상~150mm/day미만	21.75
			150mm/day이상	29.00
	인장 균열	26	없음	0
			1mm미만	6.50
			1mm이상~5mm미만	13.00
			5mm이상~50mm미만	19.50
			50mm이상	26.00
	지하 수위	15	완전건조	0
			포화도0%이상~48%미만	3.75
			포화도48%이상~72%미만	7.50
			포화도72%이상~100%미만	11.25
	사면 경사	19	완전포화	15.00
30°미만			0	
30°이상~41°미만			6.33	
41°이상~60°미만			12.66	
60°이상			19.00	

Table 8 암반사면(지질적인자) 평가표

항 목	가중치	구 분	배 점	
암반 사면 (지질적인자)	풍화정도	5.88	신선	0
			약한풍화	1.47
			보통풍화	2.94
			심한풍화	4.41
	불연속면의 방향성	14.21	완전풍화	5.88
			23°미만	0
			23°이상~30°미만	3.55
			30°이상~50°미만	7.11
			50°이상~52°미만	10.66
	불연속면의 연장성	4.9	52°이상	14.21
			<1.0m	0
			1~3m	1.23
			3~10m	2.44
			10~20m	3.67
	불연속면 (틈새) 충전물	8.33	≥20m	4.9
			없음	0
			단단한충진물(<5m)	2.08
			단단한충진물(≥5m)	4.16
			연약한충진물(<5m)	6.24
	암종	3.92	연약한충진물(≥5m)	8.33
극경암			0	
경암			0.98	
보통암			1.96	
연암			2.94	
낙석가능 압블력	7.84	풍화암	3.92	
		양호	0	
		보통	3.92	
		불량	7.84	
침식	3.92	소규모침식(우류침식)	0	
		대규모세굴(우열)	3.92	

Table 9 암반사면(수리적인자) 평가표

항 목	가중치	구 분	배 점	
암반 사면 (수리적 인자)	집중 강우	15.64	0mm/day	0
			0mm/day초과~50mm/day미만	3.91
			50mm/day이상~100mm/day미만	7.82
			100mm/day이상~150mm/day미만	11.73
			150mm/day이상	15.64
	지하 수위	5.78	완전건조	0
			포화도0%이상~70%미만	1.45
			포화도70%이상~95%미만	2.89
			포화도95%이상~100%미만	4.33
	누수	4.76	완전건조(completely dry)	0
			습함(damp)	1.19
			젖어있음(wet)	2.38
			떨어짐(dropping)	3.57
			흐름(flowing)	4.76
	배수 시설	7.82	양호	0
			보통	3.91
			불량	7.82

Table 10 암반사면(지형적인자) 평가표

항 목	가중치	구 분	배 점	
암반 사면 (지형적 인자)	테일 러스	2.04	양호	0
			보통	1.02
			불량	2.04
	수목 분포	0.68	대	0
			중	0.34
			소	0.68
	집수 지형	2.21	계곡부 없음	0
			계곡부 있음	2.21
	인장 균열	4.59	없음	0
			1mm미만	1.15
			1mm이상~5mm미만	2.30
			5mm이상~50mm미만	3.45
	포행	2.04	50mm이상	4.59
			양호	0
			보통	1.02
	상부 자연 사면 경사	2.04	불량	2.04
			역구배(<0°)	0
			수평(=0°)	0.51
			0°이상~28°미만	1.02
			28°이상~32°미만	1.53
	사면 경사	3.4	32°이상	2.04
32°미만			0	
45°이상~60°미만			1.13	
60°이상~90°미만			2.26	
		90°이상	3.40	

상기 평가표에서 각각의 평가항목에 대한 평가등급을 산정하기 위해서 사면경사, 지하수위, 불연속면의 방향성 항목은 수치해석을 실시하여 각각의 항목에 대한 현장조건과 안전율의 상관관계를 분석하여 평가등급을 산정하였으며, 또한, 평가표에 대한 검증을 실시하기 위해 최근에 조사된 000국도 00호선 전체노선(92개소)에 대해서 기존의 국도변 절토사면 평가표와 본 연구에서 개발한 AHP 평가표를 각각 적용하여 사면붕괴의 위험상태를 비교·분석하였다. 특히, 기존 국도변 절토사면 평가표의 평가항목(지하수, 포화도, 불연속면 방향성)은 실제 토사사면을 평가하기에 한정되고 부적절하므로 검증 결과 토사사면은 기존 국도변 절토사면 평가표에 의한 방법이 더 안전한 상태로 평가되었고, 반면, 혼합사면은 비슷한 상태로 평가었으며, 암반사면은 기존 국도변 절토사면 평가표에 의한 방법이 더 불안정한 상태로 평가되었다.

5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구는 도로 위험사면의 개량 및 유지관리 차원에서 사면붕괴를 사전에 예측하고 방지대책을 체계적으로 수행하기 위해서 사면의 조사 및 평가단계에서 붕괴 위험사면에 대한 조사 우선순위를 결정하기 위한 평가표를 작성하고자 한다. 이에 본 연구에서는 사면붕괴 주요원인에 대한 우선순위를 결정하는데 있어서 실무자의 판단이나 비과학적인 평가기법을 이용한 기존의 의사결정방식을 개선하여 계층분석방법(AHP)을 이용하여 기존 절토사면의 조사 및 평가단계에서 조사우선순위를 결정하기 위한 평가표를 정립하였다. 본 연구의 주요결과는 다음과 같다.

- 1) 사면붕괴 주요원인에 대한 전체 가중치 분석결과 토사사면의 평가항목 못지않게 혼합사면이나 암반사면 평가항목의 중요성도 크게 나타났으며, 전반적인 사면붕괴 주요원인에 대한 평가항목 중 집중강우, 불연속면의 방향성, 인장균열 항목이 상대적으로 높은 가중치 특성을 나타내고 있다.
- 2) 사면종류별 붕괴원인에 대한 가중치 분석결과를 토대로 사면의 조사 및 평가단계에서 조사 우선순위를 결정하기 위한 평가표를 정립하였으며, 각각의

평가항목에 대한 평가등급은 다양한 사면붕괴 현장 자료, 기존 사면조사시 적용되고 있는 각종 지침서 및 문헌자료를 분석하고, 각각의 경우에 대하여 수치해석 등을 통하여 산정하였다.

- 3) 조사 우선순위를 결정하기 위한 평가표의 적용성을 검토하기 위해서 기존의 국도변 절토사면 평가표와 본 연구에서 개발한 AHP 평가표를 실제 운용중인 국도변 절토사면의 현장(000국도 00호선)에 대해 각각 적용하여 사면붕괴의 위험상태를 비교·분석하였다.
- 4) AHP 평가표는 사면종류별로 다양한 평가항목을 선정하고 있고, 기존 도로 절토사면 평가표는 지하수, 풍화도, 불연속면 방향성 등의 평가항목만을 가지고 있으므로 사면붕괴 위험상태를 비교·분석한 결과 토사사면은 기존 국도변 절토사면 평가표에 의한 방법이 더 안정한 상태로 평가되었고, 혼합사면은 비슷한 상태로 평가되었으며, 암반사면은 기존 국도변 절토사면 평가표에 의한 방법이 더 불안정한 상태로 평가되었다. 따라서, 본 연구에서 적용된 AHP 평가모형에서처럼 토사사면, 혼합사면, 암반사면등 사면 종류별로 구분하여 각각 평가항목을 선정해 위험상태를 평가하는 것이 합리적인 결과를 나타낸다고 판단된다.
- 5) 한편, 기존 국도변 절토사면의 신속한 조사 우선순위 결정을 위하여 본 계층분석 결과를 활용한 방안을 다음과 같이 제시한다.

토사사면 및 혼합사면은 집중강우, 인장균열, 사면경사 항목 가중치가 60~70%이상을 나타내며, 암반사면의 경우 지질적인자는 불연속면의 방향성, 불연속면(틈새)충진물, 낙석가능압블럭 항목 가중치가 60%이상을 나타내고, 수리적인자는 집중강우, 배수시설 항목 가중치가 60%이상을 나타내며, 지형적인자는 인장균열, 사면경사, 집중지형 항목 가중치가 60%이상을 나타내므로 전체 항목에 대한 조사 소요시간 대비 효과와 비교해 볼 때, 위에서 제시한 항목만을 간이 조사하는 방식

을 적용하면 신속한 조사우선순위 결정이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, "도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용연구", 1998-2006.
2. 조근태, 조용곤, 강현수, "앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정", 동현출판사, 2005.
3. 박 현, 고길곤, 송지영, 신경식, "예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구", 한국개발연구원, 2000.
4. 한국도로공사, "고속도로 절토사면 유지관리 시스템 개발 연구", 2004.
5. 한국시설안전기술공단, "기술검토사례집(I)-사면 및 터널분야", 2005.
6. 한국시설안전기술공단, "절토사면 및 옹벽 유지관리 매뉴얼", 2004.
7. 한국시설안전기술공단, "시설물별 태풍을 대비한 사전 및 사후 점검요령", 2005.
8. 건설교통부, "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침-절토사면", 2003.
9. 건설교통부, "도로절토사면 유지관리 지침", 2003.
10. 박은규, "AHP 기법을 이용한 도로유지 보수 우선순위 평가모형 개발", 목원대학교, 박사학위논문, 2005.
11. 양인태, 천기선, 이상윤, 김태환, "GIS와 AHP에 의한 산사태 취약지에서의 유발인자 영향", 대한토목학회 학술대회 논문, 2005.
12. 양인태, 김동문, 유영걸, "도로의 최적노선 결정을 위한 GIS와 AHP의 적용연구", 대한토목학회 학술대회 논문, 2001.
13. 박민호, 이수범, "지방도 위험도로 선정기준에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제25권, 제2D호, 2005, pp. 247-255.
14. 신창건, 이소영, 이송, "암종별 특성이 고려된 국내 절취사면의 유지관리 방안에 관한 연구"한국지반공학회 논문집, 제24권, 제2호, 2008, 2. pp. 1-8.
15. 한국시설안전기술공단, "사면붕괴 위험수준 결정기법 개발 연구(II)", 2007. 12.
16. 소방방재청, "사면붕괴 예측 및 대응기술 개발", 2007. 5.

(접수일자 : 2007년 11월 27일)
(심사완료일자 : 2008년 3월 4일)