

암종별 특성이 고려된 국내절취사면의 유지관리방안에 관한 연구

A Study on the Domestic Cut Slope Management Plan Reflecting Quality according to Rock Types

신 창 건¹ Shin, Chang-Gun
이 소 영² Lee, So-Young
이 송³ Lee, Song

Abstract

The collapse of the cut slope occurs owing to mixed effect of many variable factors such as geological, geographic, and hydraulic factors. Nevertheless, it is very difficult to evaluate the influence of the complicated geological factors on the stability of the cut slope during various management stages. This study proposes a management plan for domestic cut slope for a series of the rock masses, based on the collapse characteristics of various rock masses and management case studies.

요 지

절취사면의 붕괴는 지질 및 지형적인 요건과 수리적인 요건 등 매우 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 발생한다. 그러나 현행 절취사면의 사전 및 사후 유지관리 단계에서 복잡한 지질조건에 따른 안정성 저해에 미치는 영향을 평가함에 있어 매우 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 국내 유지관리 주체별 현황 및 암종별 붕괴 특성 및 유지관리 사례분석 등을 실시하고 이를 통하여 암종별 특성이 고려된 국내 절취사면의 유지관리 방안을 제시하고자 한다.

Keywords : Case study, Cut slope, Management, Rock types

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

사면은 건설공사에서 발생하는 구조물로 절취사면과 성토사면, 암반사면과 토사사면, 도로사면과 부지사면, 기타 토목구조물(철도, 항만, 댐 등)에 의한 사면 등 종류가 다양하다. 국토이용의 극대화에 따른 도로건설 및 부지 조성 시 절취사면의 발생은 필연적이며 도로선형

의 직선화 및 대규모 택지단지 조성에 따라 발생하는 절취사면의 규모도 장대화 되는 추세이다. 대규모 토목 공사에는 여러 종류의 절취사면이 동시에 발생되며 구조물별로 기준이 상이하고 체계적이지 못하기 때문에 혼란을 유발한다.

일반적으로 절취사면의 붕괴는 지질 및 지형적인 요인과 수리적인 요인 등 사면거동을 지배하는 매우 다양한 인자들의 복합 작용으로 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나 현행 절취사면관련 기준들은 규모나 용도별

1 정회원, 한국시설안전기술공단 기술개발실 기초지반팀장 (Member, Team Chief, Dept. of Technical Development Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation)

2 한국시설안전기술공단 기술개발실 기초지반팀 연구원 (Researcher, Dept. of Technical Development Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation)

3 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg. Univ. of Seoul, scugeo@uos.ac.kr, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 8월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

로 분산되어 있고 암종별 주요 붕괴요인에 대한 현장반영 및 국내 암종별 특성을 고려한 기준 및 근거제시가 미흡한 실정으로 다양한 종류의 절취사면 유지관리기준 선정에 한계성을 내포하고 있다. 국내 유지관리주체별로 다양하게 적용되고 있는 상태평가 및 유지관리 기법 중 암반사면에 대해서는 주로 절리경사, 절리방향, 풍화 정도, 암석종류에 대해 일부 구분을 하고 있으나 화성암, 퇴적암, 변성암의 암종별 특성을 고려한 다양한 상태평가 및 유지관리 기법은 전무한 실정이다. 따라서 시설물별 사용 특성을 반영하는 합리적인 유지관리기준의 필요성과 함께 암종별(화성암, 퇴적암, 변성암) 특성을 반영한 절취사면의 유지관리 방안에 대한 필요성이 대두되어 지고 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

암종별 특성이 고려된 국내 절취사면의 유지관리 방안을 제시하기 위하여 본 연구에서는 사례의 통계분석에 따라 절취사면의 암종별 현황 및 특성을 분석하고자 한다. 이를 위하여 국내 국도변 절취사면의 조사자료 1,552개를 바탕으로 하여 일반현황에서부터 대책공법과 개략공사비 등의 항목을 통계, 분석하였다. 또한 기존 국내 기술개발현황에 대한 조사를 위하여 절취사면의 유지관리 실태 및 계측시스템 운용현황 조사를 실시하였다.

1.3 절취사면 유지관리의 범위

절취사면 유지관리는 위험절토사면에 대해서 현장정밀조사를 실시하고 안정성 해석 및 대책공법 제시, 투자 우선순위 결정 등 일련의 과정들이 있으나(건설교통부 2006), 본 연구에서는 절토사면의 붕괴가 일어난 후 현장조사를 실시하고 안정성 해석 및 대책공법 제시까지를 유지관리의 범위로 설정하고자 한다.

2. 국내 절취사면 유지관리 현황

2.1 지자체 관할 절취사면 유지관리실태 및 계측시스템 운용현황

지자체 관할 절취사면은 시설물의 관리주체에 따라 크게 두 부분으로 분류된다. 각 지방도로관리사업소에

서 관리하는 지방도 및 국가지원지방도 사면과 각 시·군·구청에서 관리하는 국도, 시·군도, 택지배후 사면 등으로 구분할 수 있다. 현재 국내의 절취사면 계측 및 유지관리 현황을 파악함에 있어 지자체 관할 절취사면의 유지관리 흐름에 관하여 분석된 사항은 상대적으로 매우 미흡한 실정이다.

우선, 일선 시·구청의 협조를 얻어 수집한 자료를 토대로 현황을 파악해 보면, 지자체의 사면 계측 및 유지관리는 시·구청별 혹은 지방도로관리사업소별 각각의 특성에 따라 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 사면 유지관리 실무자와의 탐문 조사에 따르면, 전담 부서 및 전담인력 부족, 예산부족 등 전반적으로 어려움을 토로하고 있다. 특히, 지자체 관할의 사면 유지관리는 절취사면 유지관리시스템의 부재 속에 전체적인 사면분포 현황, 현장점검 및 조사, 대책공법 제시 및 정비 등 기술적, 행정적으로 보완사항이 많은 것으로 나타났다. 또한 다음 장의 표 1의 일선 구청에서 자료를 협조 받은 실무자용 절개지 안전 점검표를 살펴보면 위치, 연장 및 높이와 절개지사면 안정상태, 낙석위험의 유무, 산마루측구 및 배수로의 배수기능 유지관리 상태, 낙석방지책 등 안전시설 설치 및 유지관리 상태만이 조사되고 있을 뿐, 국도 및 고속도로 등의 유지관리현황과 비교하여 상대적으로 미흡한 점이 많은 것을 알 수 있다.

표 1. 일선 구청 실무자용 절개지 안전점검표

절개지 안전점검표			
<input type="checkbox"/> 점검개요			
위치:			
개요: 연장	높이		
<input type="checkbox"/> 점검항목			
절개지사면 안정상태			
낙석위험 유무			
산마루측구 및 배수로의 배수기능 유지관리 상태			
낙석방지책 등 안전시설 설치 및 유지관리 상태			
점검일자 2007.			
점검자 직	성명	(서명)	
직	성명	(서명)	

2.2 국도변 절취사면 유지관리실태 및 계측시스템 운용 현황

국도 절취사면의 경우 전국을 권역별로 구분한 5개 지방 국토관리청과 지역별로 구분한 18개 국도유지건설사무소에서 도로전반에 대한 유지관리 업무를 담당하고 있으며, 여기에 1998년부터 건설교통부 도로관리팀과 한국시설안전기술공단, 한국건설기술연구원에서 공동으로 수행중인 ‘도로절토사면 유지관리시스템(Cut Slope Management System)’을 운용해 오면서 사면의 체계적인 유지관리와 기술개발에 일익을 담당하고 있다.

이 유지관리시스템은 기존의 재해발생 후 대책강구 방식을 탈피하여 보다 적극적으로 위험사면을 사전에 파악하여 붕괴발생사전에 예방대책을 강구하는 사전재해예방시스템으로, 매년 사면붕괴방지를 위하여 도로변 위험절취사면의 안정성 해석 및 방재차원의 적절한 대책을 수립하고 투자우선순위별로 예산을 투입하여 사전붕괴를 예방하는데 기여하고 있다. 또한, 기 대책된 절토사면에 대하여 네트워크상에서 유지관리 가능한 시스템을 개발하여 인공 및 자연재해에 대비하여 효율적인 국도 이용을 목표로 한다. 도로절토사면 유지관리 시스템의 업무는 전국의 국도변 사면에 대한 현황조사, 이를 근거로 한 위험사면 조사우선순위 결정, 현장조사, 안정성 해석, 대책방안 제시 및 개략 공사비 산정, 투자우선순위 결정, 지리정보시스템 자료입력 등 일련의 업무흐름을 가지고 있으며, 이는 최종적으로 건설교통부, 지방국토관리청, 국도유지건설사무소, 한국시설안전기술공단, 한국건설기술연구원 간의 상호업무 연계성, 인문적 업무분장 및 업무 대처방안에 대하여 운용방안을 수립하고 있다. 국도 사면의 상시계측시스템은 현장조사가 어려운 현장뿐만 아니라 대책이 쉽게 이루어질 수 없는 현장에 대하여 설치하고, 국가의 예산을 효율적으로 배분하여 붕괴를 사전에 방지하고자 운용되고 있다. 국도변 사면의 상시계측시스템이란 사면의 지반변위를 실시간 자동으로 측정함으로써 붕괴 발생 사전에 도로차단, 주민대피 등의 조치를 취할 수 있어 붕괴에 의한

피해를 최소화할 수 있는 첨단 시스템이다. 현재 전국에 수 십 여개 현장에 계측기를 설치하고 상시계측시스템을 운용 중에 있다. 현장에서 수동/자동으로 측정된 데이터는 현장의 모뎀에 자동으로 저장되는 동시에 관리자의 컴퓨터로 전송되며, 전송된 데이터는 관리자의 컴퓨터에 자동 저장되며 동시에 분석 프로그램 상에 뜨게 되며, 관리자가 설정한 관리기준치 도달 시 경보 발생과 함께 관리자의 자리 이석 시 휴대폰을 통하여 정보 메시지를 받을 수 있다.

이와 같이 상시계측시스템이 운용함에 있어, 사면붕괴가 예측되거나 이상 징후 감지 시 이에 대한 정량적인 평가는 사실상 어려운 실정이다. 이에 국도사면의 계측시스템 운용 시 지반 변위발생시 대책방안으로는 기존의 자료 및 연구결과를 토대로 아래의 표 2와 같이 제시하여 현재 운용하고 있다.(방재연구소 2007)

이러한 상시계측시스템 운용과 함께 사면에 위험징후가 관측될 경우, 이용자에게 신속히 고지하여 사고를 방지하기 위한 방안으로 낙석신호등을 연계 설치하여 운용하고 있다(그림 1). 이는 낙석발생시, 녹색, 황색, 적색의 신호체계를 설치하여 평상시에는 녹색등을 점멸하고, 낙석 및 붕괴위험가능성이 인지될 경우 황색등을 점멸하여 사전에 주의할 것을 알리며, 낙석발생으로 인하여 도로 운용이 불가능할 경우 통행차단 등을 위하여 적색등을 점멸하여 운용하고 있다.

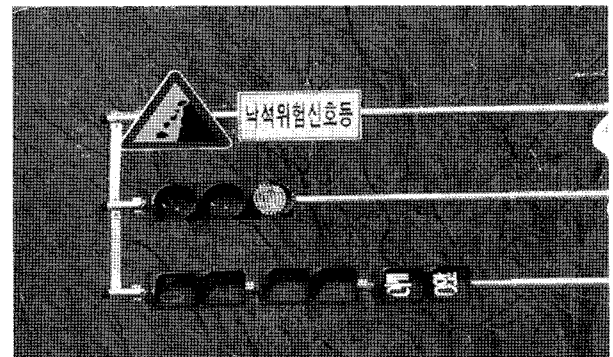


그림 1. 낙석신호등 설치사례

표 2. 상시 계측시스템 결과에 대한 운용

구분	구분	점검위주 / 관측강화	대책검토	경계 / 응급대책	엄중경계 / 일시대피
지반변이 감지 센서류		> 100mm 변이발생(월)	5~50mm 변이발생(5일간)	10~100mm 변이발생(1일간)	>100mm 변이발생(1일간)
강우계		시우량 30mm 이상시 집중관리			

2.3 고속도로변 절취사면 유지관리실태 및 계측시스템 운용현황

고속도로 사면의 경우는 통행량이 많고 차량의 속도가 빠른 점 때문에 사면의 붕괴 시 대형 사고를 유발할 가능성이 매우 높다. 작은 낙석이 발생하더라도 운전자의 반사적 행동으로 인해 매우 큰 위험을 초래할 수 있으므로 사면의 안정성과 안전시설의 확보는 통행량이 비교적 적은 국도나 지방도 사면의 안정성 확보에 비해 상대적으로 중요하게 고려되어지고 있다.

고속도로 사면에 대한 유지관리는 한국도로공사에서 사면유지관리시스템(HSMS, Highway Slope & Maintenance System)을 구축하여 설계, 건설계획부터 공사, 유지관리까지 전 과정에서 다루어지는 각종 자료를 통합 관리하고 업무흐름에 따라 연계 활용할 수 있도록 통합화한 시스템을 활용하고 있다.(한국도로공사 도로교통기술원 2004)

사면에 대한 유지관리는 붕괴가 발생하였거나 붕괴가 발생할 가능성이 있는 사면을 취약지점으로 선정하고 이를 주기적으로 관리하는 체제를 구성하고 있다. 유지관리를 위한 정보로는 위치 및 관리에 관한 일반적인 정보의 입력 및 취약등급 입력 그리고 취약지점에서의 선정경위 및 사면 조건을 기술하도록 되어 있다. 이후 이력은 점검현황, 풍수해 실태, 복구현황, 그림 항목으로 구분된다.

2.4 철도변 절취사면 유지관리실태 및 계측시스템 운용현황

철도의 건설은 지형적 조건과 경제성을 고려하여 건설되기 때문에 필연적으로 산악지대의 능선을 따라 시공하게 되므로, 선로연변에는 절개면과 자연사면이 많이 존재하게 된다. 현재 철도청에서는 전국 노선에 대하여 산사태·낙석 발생이 우려되는 개소를 지정하여 관리하고 있다. 철도청의 각 시설관리사무소에서 관리하고 있는 재해우려개소에 대한 관리대장은 재해종별, 소요예산, 보강단면도 및 수량산출, 평면도, 사진전경, 특기사항의 항목으로 구성되어 있다. 재해종별에는 예상되는 재해종류를 기입하고, 절개면 위치와 관련하여 노선, 역구간, 위치, 상하, 좌우, 연장 등을 관리하고 있다. 그러나 단순히 절개면의 위치와 사진전경만이 나와 있을 뿐 절개면의 형태, 지형조건, 지질조건, 예상되는 산사태·낙석의 규모 등 체계적으로 절개면의 특성을 파

악하기에는 어려운 실정이다.

이에 한국철도기술연구원에서는 건설교통부사업(1999~2003)으로 ‘철도시설물안정성강화기술개발’ 연구를 추진하여 철도방재의 중요성 및 필요성에 대하여 포괄적으로 성찰함과 동시에 철도현실에 알맞은 철도방재시스템 구축에 기여코자 하였다.(철도청, 한국철도기술연구원 2004)

철도변 사면의 조기 경보체계는 현장에 설치된 적외선 센서 및 와이어 센서를 통해 절개면 재해발생이 검지될 경우 일차적으로 현장에 설치한 경보시스템에 의해 검지 유무를 신속하게 전달해서 작업자 및 현장에 접근하는 열차 운전자에게 경고하여 열차의 주행성을 확보할 수 있게 한다. 이차적으로는 즉각적으로 조기 경보시스템 즉, SMS 서비스, 메일서비스 등을 구동시켜 열차운전자, 시설관리사무소 및 중앙관리센터로 낙석발생을 전달하게 된다. 마지막으로 웹 서비스를 통하여 현장에 대한 자세한 분석과 재해 발생 가능성을 예측하여 서비스함으로써 재해 발생 혹은 검지된 위치와 시간을 확인할 수 있다. 이러한 감시시스템은 각각의 현장여건을 고려하여 통신망의 확보유무와 전력공급 가능유무에 따라 구분되어 지며, 각각의 경우에 대한 전력공급 방식 및 통신이용 방법을 다양하게 운용하여 이러한 문제를 해소해 나가고 있는 현실이다.

3. 사면붕괴현장 사례분석

사면붕괴 원인에 대한 평가인자는 지형적, 수리적, 지질적 요인이 있으며 이러한 요인에 의해 붕괴여부가 좌우되며, 이중 다양한 암종분포를 나타내고 있는 국내 절취사면은 분포 암종에 따라 지질구조, 풍화특성, 붕괴양상 등의 차이를 나타낸다. 이에 국내에 분포하는 절취사면 중 2002년부터 2006년까지 조사된 국도별 암반사면 1,552개를 대상으로 하여 사면의 붕괴원인 및 유형, 특성을 파악하고 암석종류에 따라 사면붕괴유형 등을 분류하여 사면안정에 영향을 주는 요인에 대해서 분석하였다. 사면붕괴원인으로 표 3의 평가인자들을 사용하였으며, 대책공법은 표 4와 같은 목적별로 기준을 정하여 분류하였다.

3.1 암반사면의 붕괴원인 및 대책공법적용 분포

사면의 구성 재료별로 살펴보면 크게 토사사면과 혼

표 3. 사면붕괴 원인에 대한 평가인자

구성 재료별	평가인자	
암반사면	지질적 인자	풍화정도/불연속면의 방향성/불연속면의 연장성/불연속면(틈새) 충전물/암종/사면경사/낙석가능 암블럭/침식
	수리적 인자	집중강우/지하수위/누수/배수시설
	지형적 인자	테일러스/수목분포/집수지형/인장균열/포행/상부자연사면경사/사면경사

표 4. 사면붕괴 원인에 대한 대책공법 분류기준

목적	대책공법
활동하중 경감	절취/상부절취/면정리/이완암제거/라운딩
활동 억제	록앵커/앵스앵커/록볼트/소일네일링/말뚝공/버트리스/의지식옹벽/계단식화단옹벽
낙석 제어	낙석방지망/낙석방지울타리/낙석방지옹벽/돌망태옹벽
표면 보호	식생공/격자블록/심박기/숏크리트
수리 제어	산마루측구/소단배수로/도수로/수평배수공/L형측구
기타	피암터널/도로확폭/모르타르/암파쇄보호시설

합사면, 암반사면으로 나누어지는데 본 연구에서는 암종별 붕괴원인과 대책공법을 알아보려고 암종별 특성을 가장 잘 나타내는 암반사면에 대해서만 분석하였다.

붕괴원인의 평가인자를 표 3과 같이 지질적 인자, 수리적 인자, 지형적 인자로 나누어서 살펴보았다(그림 2).

지질적 평가인자로는 풍화정도, 불연속면의 방향성, 불연속면의 연장성, 불연속면(틈새) 충전물, 암종, 사면경사, 낙석가능 암블럭, 침식의 8가지 인자가 있으며 이에 대한 대책공법을 표 4와 같은 목적에 의해 분류하여 살펴보면 그림 3과 같다.

지질적 인자의 붕괴원인을 갖는 사면에 대하여 적용된 대책공법의 분포는 낙석제어공법이 36.6%로 가장 많았고 활동하중 경감공법이 20.7%로 두 번째로 많았다. 활동억제공법 15.4%, 수리제어공법 11.7%, 표면보호공법 5.9%로 나타났다. 이는 지질적 인자에 불연속면의 방향성과 사면경사 등 붕괴에 직접적인 원인이 될 수 있는 평가요인이 포함되어 있기 때문으로 판단된다.

수리적 평가인자로는 집중강우, 지하수위, 누수, 배수시설의 4가지 인자가 있으며 수리적 인자의 붕괴원인을 갖는 사면에 대하여 적용된 대책공법의 분포는 낙석제어공법이 30.5%로 가장 많았고 수리제어공법이 19.8%로 두 번째로 많았다.

활동하중 경감공법 18.9%, 활동억제공법 15.0%, 표면보호공법 8.1%순으로 나타났다(그림 4). 수리제어공법은 산마루측구, 소단배수로, 도수로 등 주로 원활한 배수기능을 위한 대책공법으로 수리적 인자에 따른 것으로 보인다.

마지막으로 암반사면의 지형적 인자에 대해서 살펴보면 테일러스, 수목분포, 집수지형, 인장균열, 포행, 상

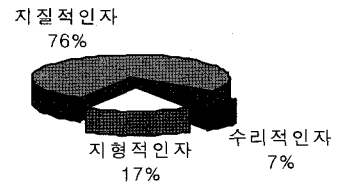


그림 2. 암반사면의 평가인자별 분포

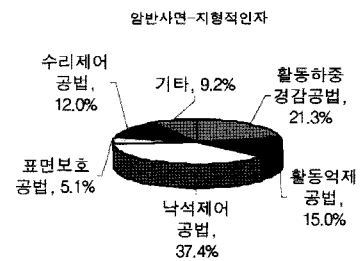


그림 3. 암반사면의 지질적 인자에 따른 대책공법

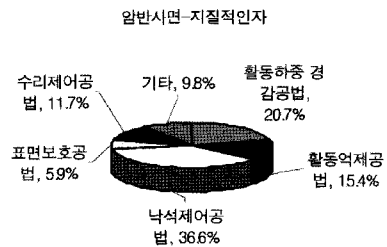


그림 4. 암반사면의 수리적 인자에 따른 대책공법

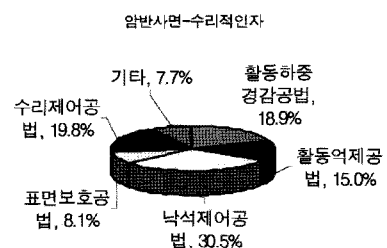


그림 5. 암반사면의 지형적 인자에 따른 대책공법

부 자연사면 경사, 사면경사의 7가지 인자로 평가되었으며 결과는 그림 5와 같다. 지질적 인자와 수리적 인자와 마찬가지로 지형적 인자도 낙석제어공법이 37.4%로 가장 많았고 활동하중 경감공법 21.3%, 활동억제공법 15%, 수리제어공법 12%, 표면보호공법 5.1%순으로 나타났다. 활동하중경감공법에는 절취, 상부절취, 면정리, 이완암제거, 라운딩이 있으며 이 중 면정리는 여타의 다른공법 적용 전에 이루어지는 시공으로 수목분포가 고르지 않거나 포행의 흔적이 있을 경우에 적용될 수 있다. 또한 절취공법은 인장균열의 원인으로 사면붕괴가 이미 발생했을 경우 적용 할 수 있고, 단순한 인장균열이 심한 경우에는 활동억제공법(락볼트, 어스앵커 등)을 적용할 수 있다.

요약하면, 낙석제어공법은 지질적 인자, 수리적 인자, 지형적 인자에 공통으로 가장 많은 분포를 보이기 때문에 대책공법과 각 인자들 간의 상관성 분석에서 제외시켰다.

지질, 지형적 인자의 경우 활동하중 경감의 적극적 공법이 우선 적용되었으며, 다소 소극적인 활동억제, 수리제어, 표면보호 등의 공법이 적용된 것으로 평가한다. 이는 지질, 지형적 특성(불연속면 특성 등)을 고려한 적절한 대책의 적용으로 판단된다. 한편 수리적 인자에 의한 대책공법 적용의 경우 원인제거에 적절한 수리제어공법이 우선적으로 적용되었음을 본 분석을 통해 판단할 수 있었다.

3.2 사면규모에 따른 대책공법의 공사비 사례분석

사면규모의 기준으로 사면높이와 사면연장을 사용하였으며 사면높이의 기준은 0~10m, 11~30m, 31~50m, 51m이상 4가지 경우, 사면연장은 0~100m, 101~200m, 201~300m, 300m이상 4가지 경우로 기준을 정하였다. 앞서 정한 기준대로 16가지 경우의 표본을 최대 20개까지 찾아서 총 224개의 사례를 분석하였다. 표 5는 앞서 말한 16가지 경우의 사면에 적용된 대책공법의 평균공사비를 나타낸 것이다. 대체적으로 같은 높이의 사면이

있을 때 연장이 길어질수록 공사비가 많아지는 것을 볼 수 있는데 이는 사면의 규모가 커질수록 공사비가 많이 소요됨을 나타낸다. 그림 6은 표 5를 그래프로 나타낸 것이다. 10이하 301이상, 51m이상 100m이하인 사면은 조건을 둘 다 만족하는 사면의 경우의 수가 부족해서 삭제하였다.

사면규모를 높이와 연장으로 보았을 때 각각 적용된 공법들의 평균공사비는 표 6과 같다. 16가지 경우의 표본으로 수집된 224개의 사면들의 적용된 대책공법 중 가장 많이 차지하는 것은 낙석제어공법으로 분석에 사용된 1,552개의 절취사면 모두 암반사면이기 때문인 것으로 판단된다. 높이가 일정할 때 연장이 길어질수록 공사비가 많아지는 것을 볼 수 있고, 연장이 일정할 때 높이가 높아질수록 공사비가 많이 소요되는 활동하중 경감공법보다는 비교적 작은 경비가 소요되는 활동억제공법이나 수리제어공법이 더 많이 사용됨을 볼 수 있다. 앞으로 보다 많은 사례가 DB로 사용된다면 어떤 사면이 무너졌을 때 사면의 비전문가라 할지라도 그 사면의 규모를 판단하고 어떠한 공법을 적용해야 하는지 예측할 수 있을 것이다. 좀 더 많은 사례로 소요비용까지 적용한다면 대략적인 공사비까지 산출될 수 있을 것이다.

3.3 암종과 붕괴원인 및 대책공법과의 관계분석

암종과 붕괴원인과의 관계를 나타내기 위해서 암반사면에 가장 많은 영향을 주는 지질적 인자의 평가 요인을 사용하여 분석하였다. 지질적 인자로는 풍화정도, 불

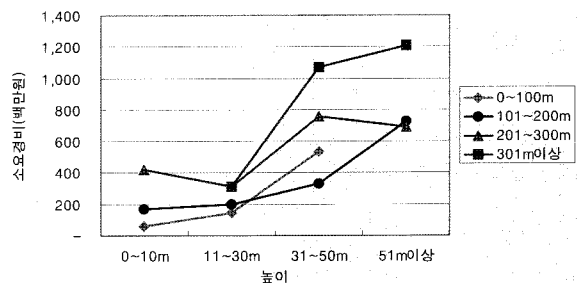


그림 6. 사면규모별 대책공법 평균공사비

표 5. 사면규모별 대책공법 평균공사비

(단위 : 백만원)

	0~100m	101~200m	201~300m	301m이상
0~10m	62	171	421	-
11~30m	145	201	310	314
31~50m	536	330	760	1070
51m이상	-	730	690	1210

표 6. 높이-연장별 적용 대책공법 공사비

(단위 :백만원)

	높이(m)	연장(m)	활동하중 경감공법	활동억제 공법	낙석제어 공법	표면보호 공법	수리제어 공법	기타	평균 공사비
1	0~10	0~100	17.87	6.87	24.74	-	8.25	4.12	62
2	0~10	101~200	44.69	22.34	55.86	7.45	26.07	14.90	171
3	0~10	201~300	70.17	70.17	70.17	70.17	140.33	-	421
4	0~10	301이상	-	-	-	-	-	-	-
5	11~30	0~100	31.76	24.70	42.35	7.06	31.76	7.06	145
6	11~30	101~200	15.14	10.09	35.32	17.66	17.66	2.52	201
7	11~30	201~300	82.24	37.96	94.90	25.31	37.96	31.63	310
8	11~30	301이상	56.02	78.43	123.25	11.20	44.82	-	314
9	31~50	0~100	122.78	66.97	178.58	44.65	66.97	55.81	536
10	31~50	101~200	49.44	90.64	123.60	24.72	16.48	24.72	330
11	31~50	201~300	131.47	160.68	233.72	73.04	73.04	87.65	760
12	31~50	301이상	194.55	194.55	162.12	194.55	194.55	129.70	1070
13	51이상	0~100	-	-	-	-	-	-	-
14	51이상	101~200	117.79	141.35	235.58	70.67	47.12	117.79	730
15	51이상	201~300	73.98	123.30	147.95	98.64	172.61	73.98	690
16	51이상	301이상	127.41	254.83	127.41	318.53	254.83	127.41	1210
	합 계		1,135.31	1,282.88	1,655.55	963.65	1,132.45	677.29	6,950

연속면의 방향성, 불연속면의 연장성, 사면경사, 낙석가능 암블럭, 기타(불연속면 충전물, 침식)를 사용하였으며 다음과 같은 결과를 보였다.

관계분석을 위해 채집된 자료의 암종은 그림 7에서 보이는 바와 같이 퇴적암, 변성암, 화성암 순으로 집계되었다.

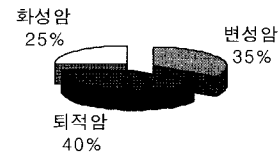


그림 7. 수집된 자료의 암종 분포

암종과 붕괴원인 평가인자와의 관계를 분석한 결과 다음 장의 그림 8과 같이 붕괴원인별로 분포하는 경향은 낙석가능 암블럭 > 풍화정도 > 불연속면의 방향성 > 사면경사 > 기타 > 불연속면의 연장성 순으로 나타났으며 암종별로 분포하는 경향은 “사면경사” 평가인자를 제외한 모든 평가인자들이 화성암 > 변성암 > 퇴적암 순으로 나타났다.

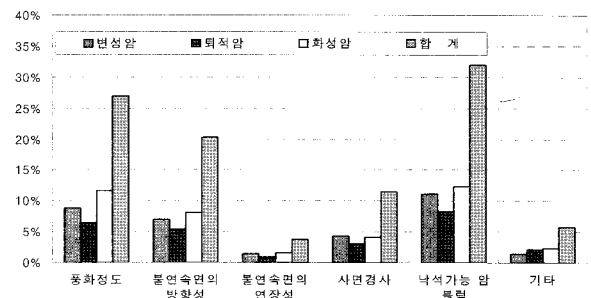


그림 8. 암종별 붕괴원인 분포

암종과 대책공법의 관계를 분석한 결과 아래의 그림 9와 같이 대책공법별로 분포하는 경향은 낙석제어공법 > 활동하중경감공법 > 활동억제공법 > 수리제어공법 > 표면보호공법 > 기타 순으로 나타났으며 암종별로는 모든 공법에서 화성암 > 변성암 > 퇴적암 순으로 분포하는 경향을 보였다.

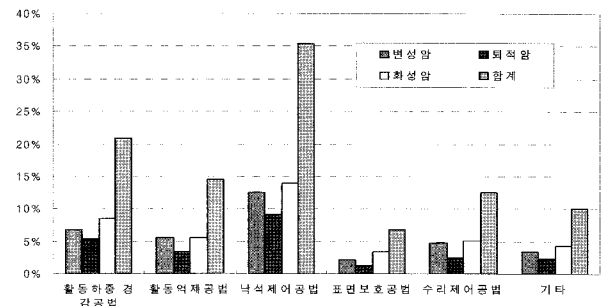


그림 9. 암종별 대책공법 분포

모든 암종에서 낙석가능 암블럭이 가장 높은 붕괴원인 분포를 보였으나, 암반사면의 특정 파괴유형으로 나타나는 붕괴양상이 아니라 도로교통에 위험한 요인으로 작용하는 평가인자이기 때문에 분포상의 많은 수치를 보이는 것으로 사료된다.

앞에서 기술하였듯이 수집된 자료의 분포는 퇴적암, 변성암, 화성암 순이었지만 붕괴원인 평가인자나 대책 공법 적용의 분포는 화성암, 변성암, 퇴적암 순으로 나타나는 결과에서 볼 때 암반사면에서의 붕괴징후 및 요인으로 화성암이 많이 나타남을 알 수 있었다.

4. 결 론

지금까지 분석한 내용을 토대로 살펴보면 암반사면의 지형적, 수리적, 지질적 인자 중 지질적 인자가 가장 많은 분포를 보였고 이는 풍화정도 및 불연속면의 발달에 따른 붕괴원인이 주된 요인으로 작용하기 때문이다. 암종별 붕괴원인 및 대책공법 관계분석에서는 화성암이 붕괴원인 평가인자의 영향을 가장 많이 받아 그에 대한 대책공법도 많이 적용된 것으로 나타났다. 각 사면별로 한 가지 공법만 쓰인 것이 아니기 때문에 이는 많은 붕괴원인별로 여러 대책공법을 가진다고 할 수 있다.

사면규모와 대책공법 관계분석에서 알 수 있듯이 규모별 조건을 만족하는 사례가 충분하지 않은 부분은 추후 자료축적을 통하여 보완할 예정이다. 또한 앞으로 보다 더 많은 사례가 DB화 되어 유지관리 자료로 축적되어지면 붕괴사면에 대하여 비전문가일지라도 유지관리 자료를 통해 사면의 규모 및 붕괴유형과 지질(암종)이 파악되면 붕괴사면에 대한 대책공법적용이 원활하게 이루어질 것으로 사료된다. 관리주체의 경우 사면별 대책공법의 검증에도 이용이 가능하다. 또한 대책공법 적

용에 따른 공사비까지 적용한다면 대략적인 비용까지 산출할 수 있을 것이다. 이를 통하여 피해직접비용 대비 사전예방적 유지관리 효율성을 검증하여 효율적인 국가 예산관리 및 대책방안 마련이 가능해 질 것으로 판단되며, 더불어 함께 진행 중인 객관적 사면 조사평가 모델(평가표)이 완성되면 기존 운용중인 사면에 대한 최적유지관리시스템을 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2003), 도로관리통합시스템, 건설교통부.
2. 구호본 (2003), 절토사면 붕괴 재해에 대한 국가차원의 적극적인 대처방안, 건설기술정보, pp.1-6.
3. 국립방재연구소, (사)한국 토질 및 기초기술사회 (2004), 강릉시 지방도 위험사면평가시범사업 보고서.
4. 방재연구소, 국립방재교육연구원 (2006) 사면재해저감 및 안전관리를 위한 연구, p.452.
5. 사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구(1) (현장조사 및 국내의 사례를 중심으로). 소방방재청 국립방재연구소.
6. 철도청, 한국철도기술연구원 (2004), 철도절개면 안정성 평가 및 대책방안 연구보고서, p.12-13.
7. 한국도로공사, 도로교통기술원 (2004), 2004 고속도로 절토사면 유지관리시스템 개발연구, p.6.
8. 한국방재협회 (2004), 방재정보, PP.25-33.
9. 한국시설안전기술공단 (2006), 사면붕괴 위험수준 결정기법 개발 연구.
10. 한국시설안전기술공단 (2007), 도로절토사면 유지관리시스템 운영업무 연구보고서, p.4.
11. 한국지반공학회 (2007), 지반재해와 저감기술, pp.420-431.
12. <http://landslides.usgs.gov/>
13. The U.S. Geological Survey Landslide hazards Program 5-year Plan 2006-2010, U.S. Geological Survey.

(접수일자 2007. 6. 21, 심사완료일 2008. 2. 18)