

## 국내외 사면관리시스템의 비교 및 현황분석 Comparison and State Analysis of Slope Management System(SMS) at Home and Aboard

강호윤<sup>1)</sup> · 장용구<sup>2)</sup> · 홍순현<sup>3)</sup> · 강인준<sup>4)</sup>

Kang, Ho Yun · Jang, Yong Gu, Hong, Soon Hun, Kang, In Joon

<sup>1)</sup> 경남도립거창전문대학 토목과 겸임교수(E-mail:happy76@pusan.ac.kr)

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구부 선임연구원(E-mail:wkddydrn@kict.re.kr)

<sup>3)</sup> 부산대학교 생명자원과학대학 산업토목학과 교수(E-mail:hsh1963@pusan.ac.kr)

<sup>4)</sup> 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:ijkang@pusan.ac.kr)

### Abstract

Korea is topographically and meteorologically prone to natural disasters. In addition to extraordinary weather, localized heavy rain is a irregular occurrence. Korea are frequently damaged by rain, wind, flood, etc. Recently, slope failures are disastrous when they occur in mountainous area adjoining highways. The accidents associated with slope failures have increased due to rapid urbanization of mountainous area. Therefore, the inspection of slope is conducted to maintain highway safety as well as road function. We developed basic function and risk management of a partial shape on highway slopes based on the internet. It is important for quantitative risk evaluation of highway slopes.

### 1. 서 론

우리나라는 뚜렷한 동고서저의 지형으로 국토 면적의 약 70%가 산악지형으로 이루어져 있으며 다양한 지질학적 특성을 나타내고 있다. 최근 산업경제의 발전에 따라 대규모 국토개발, 국토정비 사업 등이 활발하게 이루어지고 있으나, 국토가 협소하고 인구가 과밀한 우리나라에 있어서 이러한 대형 건설사업이 실시될 경우 평지부분에서 용지를 구하는 것이 어려워짐에 따라 산악 및 구릉지대의 개발이 점차 증가하고 있다. 특히, 연평균 강우량의 2/3정도가 하절기에 집중되는 기후특성 때문에 절토사면의 붕괴가 자주 발생하여 해마다 인명 및 재산손실 뿐만 아니라 사회 경제적 파급 효과에 커다란 영향을 미치고 있다.

일반국도의 경우 전체 12,560개의 절토 사면이 분포하는 것으로 집계되며 도로의 신설, 확장, 편입 등의 요인으로 해마다 개소 수는 증가할 것으로 판단된다. 고속도로의 경우 현재 3,000여개의 절토사면이 분포하는 것으로 집계되고 있으며 향

후 2020년까지 국토의 7×9격자망 형성 계획에 따라 고속도로 총연장이 6,160km까지 확대될 경우 절토사면의 수는 지금보다 3배 증가한 9,000여개에 이를 것으로 분석된다. 또한, 택지 절토사면의 경우 정부가 발표한 향후 10년간 150만호의 임대주택을 건설하기 위해서는 산지, 구릉지에서의 단지개발에 따른 사면의 수가 더욱 증가할 것으로 예상된다(국립방재연구소, 2006).

최근 10년간의 사면재해현황을 보면 전체 사망자 1,279명 중 산사태 등 급경사지의 붕괴로 약 22%에 달하는 280명 사망하였으며 2002년 8월에 발생한 태풍 '루사'의 경우 도로를 운영중이던 운전자가 사전에 산사태의 발생을 인지하지 못함으로써 사망한 것과 판단하여 유족들이 국가를 상대로 낸 손해 배상 청구소송에서 "집중호우로 인한 피해 발생 가능성을 예상해 안전시설을 설치해야 했음에도 이를 게을리한 점이 인정되는 만큼 배상 책임이 있다"며 국가 배상을 판결한 바가 있다.

절취사면의 붕괴는 매년 발생하고 있으며 이와 더불어 인명 및 사회경제적 손실이 발생하고 있

다. 하지만 절취사면의 경우 다양한 관리주체로 인해 사면의 체계적인 관리가 힘들며 재해 발생 시 효율적인 대처가 힘들다. 따라서 본 논문에서는 절취사면 관리 주체 및 시스템의 비교분석과 향후 GIS기법을 활용한 사면재해위험관리시스템 및 재해지도제작기법을 제시하고자 한다.

## 2. 사면재해 시스템 현황

### 2.1 국외시스템

#### 2.1.1 미국

USGS에서는 자연재해 연구 분야의 하나인 산사태 재해에 대한 주제를 연구하고 있다 (<http://landslides.usgs.gov/>). 국가 산사태 피해 저감 전략(NLHMS : National Landslide Hazards Mitigation Strategy)을 세워 연방, 주, 지자체, 개인, 연구소 간의 협동으로 운영중이다. Puget Sound Coastal Bluffs, Woodway, Washington, Seattle, Washington Area, Highway 50, California 네 개 지역을 중심으로 계측기를 심어 실시간으로 강우량, 토양의 수분 함유량 등을 조사하고 있다.

Debris flow와 강우, 폭우, 폭풍, 산림훼손, 산불 등의 관계에 대해서도 사례조사 및 연구를 하고 있다. 특히 예기치 않고 갑자기 일어나 인명과 재산을 앗아가는 debris flow의 가장 큰 원인 중 하

나인 산불과의 관계에도 연구를 활발히 하고 있다.

국가 산사태 정보센터(NLIC, National Landslide Information Center)는 산사태에 관한 정보를 일반 대중, 연구자, 설계자, 지자체, 주, 연방 정부에 제공하는 데 책임을 지고 있다. NLIC는 무료전화, 웹페이지를 통하여 산사태에 관한 문의를 받는다. 화산의 폭발, 화산재의 낙하, 홍수 발생시 전, 도중, 후 상황에 대한 대책 방법 제공. 최근의 재해 발생 사례를 소개 한다. 재해 이미지와 산사태 발생빈도, 발생가능 지도, 산불이 일어난 지역과 debris flow와의 연관 지도 등을 제공한다. 최근에는 LIDAR를 이용하여 산사태 발생 지역을 Mapping 하는 연구도 하고 있다. 그림 4와 5는 LIDAR와 GIS기법을 활용한 사면재해정보시스템을 통해 재해위험등급의 범위와 미국 전역의 산사태 위험도에 대해 보여주고 있다.

#### 2.1.2 일본

일본의 경우 토목연구소에서 4년간의 연구투자를 통해 최근 “GIS를 활용한 도로사면 위험평가에 관한 공동연구”를 실시하였다. 이는 4개 연구기관이 공동주관으로 구성되어져 항공촬영과 GIS 시스템 개발 및 연구를 진행하였다. 특히, GIS를 이용한 “도로에의 붕토 도달 예측 방법”시스템의 경우 도로에 접해있는 절토사면을 토사사면과 암반사면으로 구분하여 두 가지 방안으로 해석모델

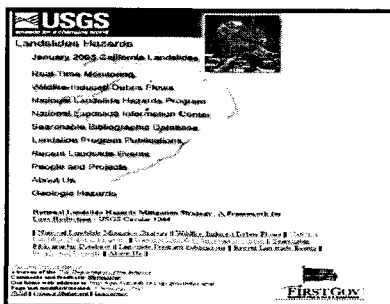


그림 1. USGS 사면재해정보



그림 2. 위성영상을 활용한 사면위험

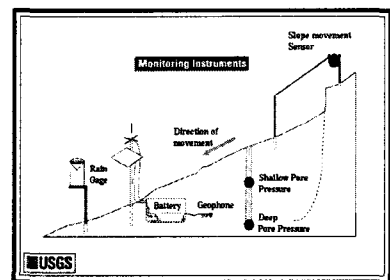


그림 3. 사면 모델링 장비구조도

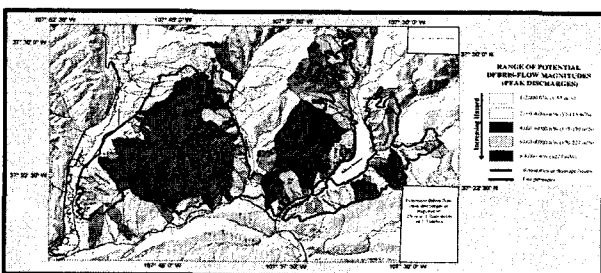


그림 4. 재해위험 등급의 범위

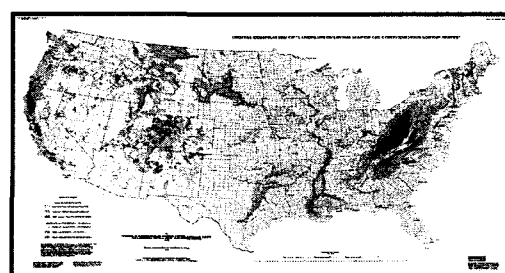


그림 5. 미국 전역의 산사태 위험도

을 구현하였다. 두 가지 해석모델 모두 기초자료는 수치표고모델(DEM : Digital Elevation Model)을 이용하여 셀(cell)단위로 표현하였으며 일정지역에서 표층붕괴 확률이 높은 지역을 위험지역으로 제시하고 있으며 범례에 이를 수치로 하여 제시하고 있다(그림 6). 또한 다변량 통계 해석에 의한 암반 붕괴 물질의 도달범위 예측 시스템 (Hazard area Estimation System for rock mass failure debris using multivariate statistical analysis)을 개발하였는데 이는 방정식에 따른 붕토도달 비산 범위 분석 및 예측이 가능하도록 개발 되었다(그림7). 우리나라 지형과 유사한 일본의 효고현 지방에서는 GIS기반의 도로방재시스템을 운영중에 있다. 시스템의 특징을 살펴보면, 시스템 제공정보 중 매 분, 시간, 일자별로 강우와 적설량 정보를 축적함으로써 언제든지 누구나 과거 붕괴이력에 대한 요소인자들을 제공 받을 수 있으며, 규제정보와 실시간 위험정보를 도로전광안내판에 제공함으로써 도로

이용자에게 인터넷뿐만 아니라 현지에서도 이용할 수 있도록 시스템이 연계되며 도로 위험구간에 카메라를 설치하여 실시간 모니터링 정보를 제공함으로써 현지에 파견가는 횡수를 줄이고 원격관리가 가능토록 하였다. 하지만, 각 기능별 자료 검색만 가능함으로 정보이용자 관점에서 제공되는 서비스이며 항목별 제공되는 정보에서 이용자의 이해도를 높이는 자료 중 자료분석에 사용되는 그래프기능이 제공되거나 도로노면 사진정보를 제외하고는 세부적인 사진·영상자료가 제공되지 않는다. 또한, 지도제공 서비스에서 GIS기술과 수치지도를 기반으로 한 대축척별 확대, 이동 등 기본기능과 도로에서 제공하는 다양한 정보·분석기능 등의 융합기술이 적용되어 운영되지 않고 고정된 축척의 행정구역도와 도로망도를 제공함으로써 종이지도와 같이 위치정보만 알려주며 기상자료를 제공하고 있는 수준이며 도로위험인자로서의 도로공학, 토질학적, 지질학적 관점의 관리는 이루어지지 않는 단점이 있다.

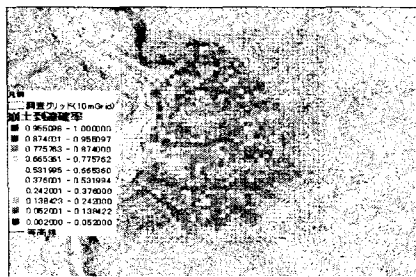


그림 6. 표층붕괴 확률모델

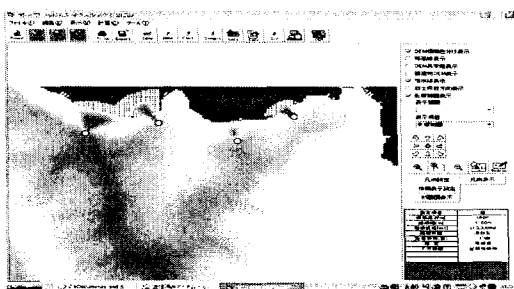


그림 7. 암반사면 도달범위 예측 시스템

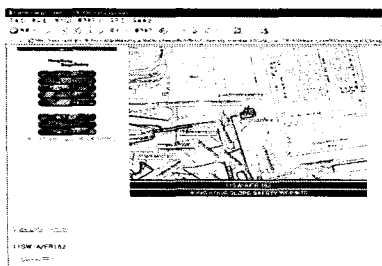


그림 8. 홍콩사면안전 시스템



그림 9. 데이터 다운로드



그림 10. 모바일 Map System

### 2.1.3 홍콩

홍콩의 경우 홍콩자치정부 내 토목공정서 토력공정처(CED)주관 하에 산사태 방지대책(Landslip Preventive Measures ; LPM) 프로그램을 수행하고 있으며, 사면붕괴에 의한 손실저감, 지반안정성 확보, 사면안정성 평가 및 보강을 위한 방법 표준화에 중점을 두고 있다. 1995년부터 국가차원의 '산사태 방지대책 계획(LPM)'을 실시해 오고 있으며, 이는 2010년까지 총 5,500개의 사면에 대한 연구를 수행할 계획으로 산사태 위험등급도 작성사업을 통하여 사면을 분류하고, 주요사면에 대한 산사태 상시감시 및 사후관리 프로그램에서는 사면코드에 따라 사면을 지속적으로 관리하고 있다. 그림 8은 홍콩사면안전 시스템의 메인화면을 보여주고 있다.

홍콩의 Slope Safety System의 경우 ArcGIS를 이용한 공무원, 엔지니어 대상의 시스템과 Micro-



그림 11. 현장 조사 장면

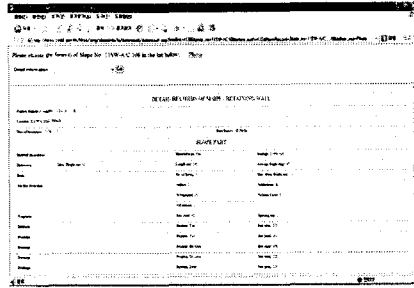


그림 12. 사면 정보 리스트

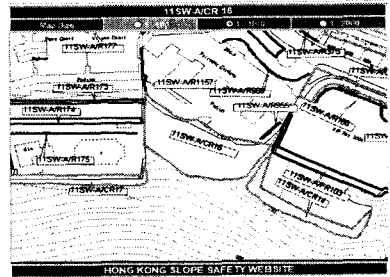


그림 13. Web-GIS Map 화면

station을 이용한 일반인 대상의 시스템으로 이분화 되어 구성되어 있으며 프로그램의 운용은 사면의 위험성과 대피에 대한 주민 홍보를 주요 기능으로 하여 제공되고 있다. 또한 시스템에 등재되는 사면의 기록을 위하여 Lidar, Total-Station, GPS를 이용한 정밀한 측량이 이루어지고 있으며, 시스템의 최종 목적은 사면의 안전한 시공을 통한 관리에 있다.

반면, 일반인을 대상으로 한 서비스의 경우 제공되는 시스템의 인터페이스가 단순한 텍스트 Format을 사용하여 이용자의 가시성과 정보 접근성이 떨어지며 사용되는 지도의 Layer가 단순하여 사면에 집중하여 정보를 파악 할 수 있는 반면 주위의 정보를 이용한 종합적인 판단에 한계가 있었다. 또한 사면정보를 검색하기 위한 기능이 단순하여 등록된 사면을 리스트에서 찾아서 세부 내용을 볼 수 있으며, 축척의 변화와 지도상의 사면을 선택하여 정보 검색은 가능하나, 지도의 이동, 동적인 지도의 네비게이션 등의 기능이 제공되지 않는다.

## 2.2 국내시스템

### 2.2.1 건설교통부

건설교통부에서 관리하는 사면은 국도 및 고속국도의 절취사면으로 국도의 경우 각 지방국도유지관리사무소의 보수과에서 매년 위험 절취사면의 조사를 통해 건설기술연구원에서 조사대상 사면에 대한 DB화 및 평가표를 통한 분석을 통해 붕괴위험 사면의 보강을 위한 우선순위를 매기게 되며 이를 절취사면시스템(CSMS, Cut Slope Management System)을 통하여 관리를 하고 있다. 고속도로의 경우 한국도로공사 산하 도로교통기술원에서 고속국도 절취사면에 대한 조사와 DB화 작업을 진행중이며 시스템 구축을 통해 사면을 관리하고 있다. 또한 위험 절취사면에 대한 상시계측을 위해 유비쿼터스기반 실시간 사면 감지

시스템을 운영중에 있다. 여기서는 각 국도유지관리사무소 관할의 위험 절취사면의 계측정보자료를 파악할 수 있으며 실시간 동영상 정보도 제공함으로 실제 사면현황을 시스템을 통해 파악이 가능하며 실시간 모니터링이 가능하다.

### 2.2.2 철도기술연구원

선로연변사면은 자연환경에 노출되어 있어 강우 등에 의한 풍화의 진행, 열차 운행상의 진동, 설계 당시와는 다른 환경조건 등으로 낙석 및 산사태의 우려가 상존하고 있으며 열차 운행상의 장해요소가 되고 있다. 따라서 철도재해의 예·검지 자동화, 재해의 평가 및 복구의 지능화를 포괄하는 지능형 철도방재시스템인 IR-DiPS(Intelligent Railroad Disaster Prevention System)을 구축중에 있다.

철도 연변의 절·성토 사면을 대상으로 위험도 판정 및 예측을 위해 낙석 위험지역에 대해 수행한

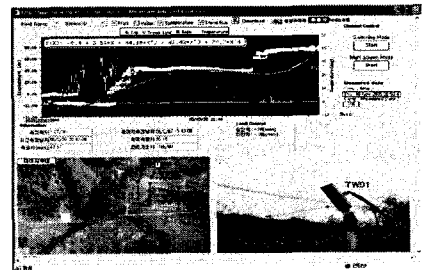


그림 14. 실시간 계측시스템

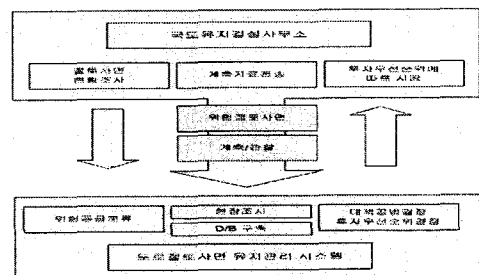


그림 15 CSMS 시스템 구성

현장조사의 제반 자료들과 철도 주변 지역의 지형, 지질, 토양, 임상, 광상 및 수문 자료 데이터베이스를 구축함으로써 산사태 및 낙석 방지 시스템을 구축하였다. 지리정보시스템(GIS)을 이용한 현장 조사자료, 지형지물, 시설물, 토지이용, 지질, 토양, 임상, 인공위성영상, 구조선, 광상, 수문 등 철도 연변 재해 관련 자료의 데이터베이스 설계 및 구축하였고, 중앙선, 태백선, 영동선, 충북선, 정선선 등 5개 노선의 위험사면에 대한 현장 조사 및 평가 방법 수립, 그리고 기존 자료 분석과 현장 개략조사를 통한 철도 연변 위험사면 낙석 위험성 평가 및 조사 우선순위를 선정하였다. 선정된 우선순위별로 위험 사면의 위치, 높이, 길이, 경사, 경사방향, 풍화정도, 식생, 암상, 토질, 주요 구조선, 지하수위, 각 불연속면의 주향, 경사, 방지대책 여부 등에 관한 현장조사를 실시한다. 또한 지형분석을 통한 고도분포, 경사, 경사방향, 음영기복정보 등을 추출, 구축된 데이터베이스 및 개발된 프로그램 배포를 위한 CD제작 및 인터넷을 통한 공간정보 제공 프로그램 설계 및 이를 통한 데이터베이스 관련 기관 및 대국민 서비스 실시를 하려고 한다.

### 2.2.3 행정자치부

행정자치부의 경우 소방방재청, 산림청등을 중심으로 사면재난 및 재해에 관한 연구를 진행중에 있다. 특히 지질자원연구소와 국립방재연구소, 임업연구원을 중심으로 산사태와 관련된 연구를 중점적으로 진행중이다. 지질자원연구소의 산사태 재해시스템의 경우 1. 야외조사에서 획득한 지형, 지질, 산사태 기하 자료와 실내시험을 통해 얻은 토질특성 자료 등을 면밀히 검토한 후 오류가능성이 있는 자료는 재확인 2. 통계적 기법을 이용하여 산사태 발생에 영향을 미치는 인자들을 선별하기 위해 인자별 상관성 분석을 실시하여 통계적 유의성이 높은 인자를 추출 3. 추출된 인자를 지질학적 관점에서 영향인자로서의 역할을 검토하고, 문제가 있을 경우 통계분석을 반복하여 최종적으로 적합한 영향인자를 선정 4. 로지스틱 회귀분석을 이용하여 선정된 영향인자들의 정량적 가중치를 설정하고, 이를 토대로 로지스틱회귀식을 도출 5. GIS기법과 1:5,000전산지형도를 이용하여 대상지역을 5m×5m 크기의 격자(cell)로 분할한 후, 각 레이어 별로 격자마다 통계기법에서 설정한 인자별 속성값을 입력 6. 각 레이어 별 속성값은 로지스틱 회귀식에 의해 격자별 logit value를 산출하고, 이를 다시 확률로 바꾸어 표

현 7. 각 레이어를 중첩, 연산하여 확률로 표현한 산사태 예측도를 최종적으로 작성의 7단계를 거쳐서 산사태 예측도를 작성하고 있다.

### 3. GIS기법의 사면재해 위험도 작성

지금까지의 분석결과를 보면, 다양한 사면관리 주체로 인해 체계적인 절취사면 정보 및 DB구축이 어려운 실정이다. 각 관리주체별로 사면조사 및 관리를 함으로서 사면에 대한 체계적인 조사가 힘들며 각 부처별로 이와 유사한 연구와 시스템 보안이 이루어지고 있으나 사면붕괴는 매년 발생하고 있다. 특히, 사면붕괴가 발생하더라도 다양한 관리주체로 인해 체계적인 대응 및 대책이 이루어지지 못하고 있다. 또한 기후적인 특성상 매년 여름 집중호우로 인한 붕괴가 발생하고 있어 사면붕괴가 발생하였더라도 정밀 진단을 통해 체계적인 보강 및 대책이 이루어져야 하나 내년 여름까지 보강이 완료되어야 하는 문제 때문에 급속하게 댐 질식의 대책밖에 이루어지지 못하고 있다. 최근 소방방재청에서는 급경사지법을 국회에 제출한 상태이다. 따라서 이러한 문제는 제도적인 문제와 시스템 그리고 대응기술의 총체적인 문제이다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 절취사면에 대한 최소한의 항목에 대한 획일화 된 DB항목들이 필요하며 지속적으로 관측된 DB자료들이 필요하다. 따라서 GIS기법을 활용하여 사면의 정확한 위치 및 현황에 대한 시스템이 필요하며 사면붕괴위험의 등급에 따른 효율적이고 체계적인 관리가 필요하겠다.

### 4. 결 론

사면의 다양한 관리주체로 사면붕괴에 대한 효율적인 대응 및 대책이 어려운 실정이며 체계적인 관리를 위해서는 GIS기반의 통합된 시스템과 등급화된 사면재해위험지도 제작을 통해 사면관리의 효율화를 꾀하여야 한다. 본 논문의 결론을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 국외 사면관리의 경우 획일화된 관리주체로 인해 절취사면 관련 DB를 지속적으로 구축 및 관리를 하고 있어 사면붕괴에 대한 정밀한 예측 및 대응기술이 확보되어 있었다. 특히 홍콩의 경우 전역의 사면에 대한 우량계 및 실시간 관리를 하고 있으며 사면의 정확한 위치 및 물리적 현황 파악을 위해 항공사진측량 및 LiDAR등의 신기술

을 이용해 사면지도를 제작하고 있다.

둘째, 국내 사면관리는 건설교통부, 행정자치부, 철도공사 등 다양한 관리주체 및 이해관계인에 의해 체계적이고 효율적인 관리가 이루어지지 않고 있다. 또한 기후특성상 매년 집중호우로 인한 사면붕괴가 발생하고 있어 정밀한 진단 등을 통해 사면보강이 이루어져야 하나 내년 집중호우 전까지 보강해야 하는 문제점으로 붕괴원인 파악 및 DB구축이 어려운 실정이다.

셋째, 사면의 지속적인 관리를 위해서는 제도상의 문제와 기술적인 문제가 해결이 되어야하며 특히, 다양한 관리주체로 인한 체계적인 대응 및 대책이 어려운 실정이다. 따라서 사면의 지속적인 DB관리 및 GIS기반의 통합관리시스템이 필요하며 사면재해에 효율적인 대응 및 대책 마련을 위해서는 사면재해위험지도제작을 통한 등급별 관리가 필요하다.

이상에서 살펴본바와 같이, 다양한 사면관리주체로 인해 절취사면의 통합적 관리가 어려운 실정이며 사면의 체계적 관리를 위해서는 GIS기반의 통합관리시스템이 필요하다.

## 감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(사면 붕괴 예측 및 대응 기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

건설교통부 (2005), GIS를 이용한 도로 접도 사면 재해 위험도 작성 연구보고서, 한국건설교통기술평가원, pp. 25-32.

방재연구소(2006), 사면재해 저감 및 안전관리를 위한 연구, pp 263-265.

곽영주, 강호운, 강인준, 장용구(2005), 국토 24호 선 절토사면을 대상으로 한 재해위험 예측에 관한 연구, 한국 GIS학회 추계학술대회, 한국 GIS학회, pp. 75~84

곽영주, 강호운, 강인준(2005), 사면재해 평가의 3차원 스캐닝 기법적용, 한국지형공간정보학회, 제13권 2호, pp. 45~50

신현준 (1995), 원격탐사와 GIS를 이용한 충주지역의 사면 안정 평가, 연세대학교 석사학위 논문

이사로 (2000), 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 연세대학교 박사학위 논문

日本地盤工學會(2004), 豪雨時の斜面崩壊のメカニズムおよび危険度豫測 研究報告書, 日本社団法人地盤工學會.

JAMES K. Mitchell(1993), *FUNDAMENTALS OF SOIL BEHAVIOR*, JOHN WILEY & SONS, INC.

LEE W. ABRAMSON, THOMAS S. LEE SUNIL SHARMA, GLENN M. BOYCE(1996), *SLOPE STABILITY AND STABILIZATION METHODS*, JOHN WILEY & SONS, INC.

Nathabandu T. Kottegoda, Renzo Rosso(1997) *Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, The McGraw-Hill Companies, Inc.