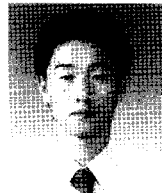


국가차원의 절토사면 재해 사전예방시스템 구축방안



구 호 본
한국건설기술연구원
지반방재·환경연구실 책임연구원



이 중 현
한국건설기술연구원
지반방재·환경연구실 연구원



김 승 현
한국건설기술연구원
지반방재·환경연구실 연구원



이 정 엽
한국건설기술연구원
지반방재·환경연구실 연구원



이 성 준
국토해양부 도로운영과 과장



임 광 수
국토해양부 도로운영과 사무관

1. 서론

국내의 지형특성상 70% 이상이 산지로 구성되어 있고 여름철 집중강우 등의 영향으로 매년 반복적으로 발생하는 산사태에 의한 인명피해는 연평균 56명에 달한다.

최근 산업화와 국가 사회 간접자본 구축의 일환으로 도로의 건설이 전국적으로 이루어지고 있다. 과거 1990년대 이전 도로 건설현장의 경우 공사비의 절약, 공사기간 단축, 절토사면의 경사도 결정(암석 강도 기준)의 설계 및 시

공의 기술적 한계 등으로 인하여 절토사면의 안정성 확보는 비중을 두지 않고 주로 자연사면의 하부에서 발파에 의해 신속한 시공이 이루어진 상태에서 도로를 개통하여 불안정한 도로 절토사면이 분포하는 결과를 초래하였다. 또한, 절토사면의 붕괴가 발생하여야 대책을 수립하는 사후 대책에 한정하는 절토사면의 관리가 이루어졌다.

최근 건설기술 관련 선진국 진입의 관문에서 재해에 대한 국가적 관심이 고조되는 가운데 절토사면의 안정성 확보가 무엇보다 중요시됨에 따라 '시설물의 안전관리에 관



한 특별법'에 절토사면의 안전점검 및 정밀안전진단의 의무화를 명기하게 되었다. 절토사면의 안정성 확보가 사회적 문제로 대두됨에 따라 관련 기술의 개발이 시급해 졌고 이에 발맞추어 지반공학 기술자들의 기술개발에 매진하는 실정이다.

국내 국가도로 관련 관리기관인 건설교통부는 1995년부터 약 12,477km의 전국 국도에 분포된 도로 절토사면에 대해서 현장조사, 안정성 해석 및 대책공법 결정 등의 일련의 유지관리 체계를 수립하여 과거에 시공된 위험 절토사면에 대한 대책을 연차적으로 수행하고 있다. 한국건설기술연구원은 기존의 절토사면에 대한 지속적인 연구 배경을 토대로 상기 유지관리를 보다 체계적으로 수행하기 위하여 전국 국도에 대해서 '도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용' 연구를 1997년 12월부터 현재까지 지속적으로 수행하고 있다. 사면 구조물 유지관리 연구 분야는 연구원의 20년간의 사면분야의 연구경험을 토대로 국가적 차원의 방재시스템에 접목하는 종합적인 연구 분야로 사면분야 연구의 결정체라 할 수 있다.

2. 도로절토사면 유지관리시스템 개발

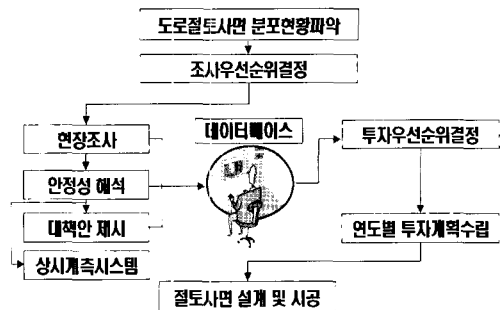
국내의 경우 도로절토사면이나 그 인접 사면의 붕괴가 잦은 이유는 첫째, 연평균 강우량의 약 2/3 정도가 여름철에 집중 발생되고, 둘째, 사계절의 명확한 차이로 인한 해빙기 동결융해 현상, 셋째, 과거 도로 개설 시 발파 위주의 시공에 따른 암반의 이완 등을 들 수 있다.

절토사면 붕괴에 따른 대책수립은 특정 기업이나 단체에서 수행하기에 엄청난 재정과 기간이 소요되고, 또한 이를 재해예방의 차원에서 볼 때 기존의 경제적 이익 관점에서 접근하기에 다소 무리가 있다. 왜냐하면 재해예방은 엄청난 재정적 지원이 수반되어야 하나 이로 인한 가시적인 경제적 이익 환수는 매우 미미하기 때문이다. 그러나 낙석, 산사태 등으로 인한 인명 및 재산피해는 지속적으로 증가하고 있고 사회적 문제점으로 부각되기 때문에 매우

중요한 사안으로 대두되고 있다.

따라서 절토사면 붕괴재해에 대한 국가적 차원의 대책 마련이 반드시 이루어져야 한다. 이를 위해서는 전국에 산재해 있는 절토사면에 대한 데이터베이스를 구축하고 이를 근거로 중장기적 차원의 대책마련 즉, 자원조달 방안, 연차별 위험절토사면에 대한 투자계획, 현장 절토사면 주변 환경을 고려한 최적의 대책공법 제시 등이 이루어져야 한다.

국가적 차원에서 체계적으로 국도 절토사면을 유지 관리하고 장기적인 국도 절토사면 재해대책방안을 수립하기 위해 아래와 같은 목적을 가지고 도로절토사면 현장조사 및 안정성해석, 그리고 분석업무와 연구업무를 수행하였다. 결론적으로 기존의 재해예방 관련 사후대책 수립의 문제점을 개선하고자 선진국형 사전재해예방시스템을 운영하는 것이다. 위험절토사면을 사전에 파악하여 전문가에 의한 현장조사, 안정성 해석, 절토사면 특성을 고려한 대책공법 제시, 관련 자료 데이터베이스 구축, 첨단기법을 이용한 계측관리시스템 구축 등 일련의 시스템을 구축하여 절토사면 재해예방을 실현하는 것으로 운영 흐름도(그림 2.1 참조)는 아래와 같다.



〈그림 2.1〉 도로절토사면 유지관리시스템 운영 흐름도

2.1 현황조사

위험절토사면의 체계적이고 효율적인 관리를 위해서는 먼저 전국에 분포하고 있는 절토사면에 대한 현황조사가 선행되어야 한다. 현황조사 자료를 바탕으로 위험절토사면을 분류하고 위험성이 상대적으로 큰 절토사면을 대상

으로 현장조사, 안정성 해석, 현장여건에 맞는 대책을 강구하여 유지·관리 업무를 수행할 수 있다.

(1) 현황조사 조사 항목

절토사면 현황조사 시트는 크게 절토사면 속성자료를 기록하는 시트와 절토사면 사진자료를 기록하는 시트로 구성된다. 속성자료 시트는 사면 관리 및 위치정보, 일반현황, 절토사면 특성, 조사자 소견 등의 네 부분으로 구성되어 있으며(표 2.1 참조), 사진자료 시트에는 전경사진, 측면사진, 구성암사진, 세부사진 등의 자료를 기록하게 된다(표 2.2 참조).

(표 2.1) 2006 CSMS 절토사면 현황조사 속성자료

부 분	세부 조사 항목	
사면 관리 및 위치정보	○ 관리국도사무소 ○ 코드	○ 국도호선 ○ 주소(행정구역)
일반현황	○ 거리표 ○ 차선 ○ CSMS기조사 여부 ○ 조사기관	○ 위경도 ○ 조사일자 ○ 조사자
절토사면 특성	○ 길이 ○ 경사 ○ 평균 이격거리 ○ 사면종류 ○ 지하수 누수양상 ○ 풍화도 ○ 사면형상 ○ 계곡부 유무 및 개소수 ○ 뜬돌 유무 및 규모 ○ 임종 ○ 임반형태 ○ 시공현황 및 상태	○ 최대높이 ○ 상부경사 ○ 소단 유무 및 개소수 ○ 주변지형 ○ 지하수 누수위치 ○ 불연속면 방향성 ○ 측면형상 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 유무 및 규모 ○ 토층심도 ○ 불연속면 유무 및 종류
조사자 소견	○ 계측 추진 여부 ○ 조사자 위험도 ○ 붕괴유형 ○ 위험구간 및 붕괴유형 ○ 조치	○ 2중 시설물 가능 여부 ○ 조사자 피해도 ○ 위험등급 ○ 필요 주공법 ○ 기타

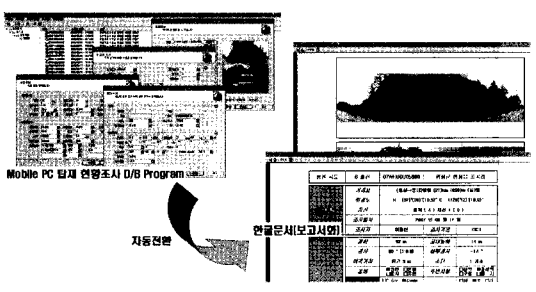
(표 2.2) 절토사면 현황조사 사진자료

종 류	설 명
전경사진	○ 대상 절토사면의 특징을 가장 잘 확인할 수 있는 지점을 중심으로 촬영된 사진
측면사진	○ 대상 절토사면의 시점부 및 종점부 부근에서 절토사면의 경사와 상부자연사면 경사, 측면형상 등을 확인할 수 있는 지점에서 촬영된 사진 ○ 시점부 측면과 종점부 측면 등 2 종류
구성암사진	○ 대상 절토사면을 구성하는 암반을 확인할 수 있는 근접 촬영 사진
세부사진	○ 대상 절토사면의 특징을 확인할 수 있도록 구간별, 지점별로 세부하여 세부적으로 촬영된 사진 ○ 총 6 종류

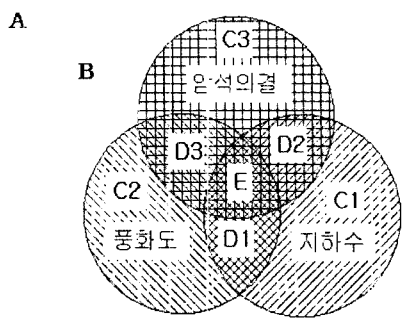
(2) Mobile PC를 이용한 현황조사

현황조사 자료의 체계적이고 과학적인 관리를 위하여 2006년도까지는 현장에서 현황조사 시트를 수기(手記)로 작성하여 이를 실내에서 문서 파일화 및 데이터베이스화 하였으나, 방대한 작업량으로 시간적 손실이 매우 심하고, 실내 작업중 획득 자료의 오류가 종종 발생하는 문제점이 발생하였다. 이에 최근에는 현장에서 획득한 자료를 바로 데이터베이스화함으로써 실내 작업량을 최소화하고, 자료의 정확성을 높이기 위해 첨단 IT 기술과의 접목을 시도하였다.

현장에서의 휴대성, 자료 입력 및 수정의 편의성, 다양한 프로그램의 활용성, 자료 확인의 편의성, 향후 무선 통신 활용성 등을 고려하여 Mobile PC에 탑재가 가능한 현황조사 데이터베이스 프로그램을 개발하였다. Mobile PC에 탑재된 현황조사 데이터베이스 프로그램에 현장에서 바로 자료를 입력함으로써 입력 자료의 데이터베이스화를 현장에서 완성할 수 있으며, 입력된 자료는 한글 문서 및 엑셀 쉬트로도 바로 전환되어 자료 관리 및 자료의 원활한 활용에 도움이 되도록 하였다.



(그림 2.2) Mobile PC를 이용한 절토사면 현황조사



(그림 2.3) 등급분류 방법

2.2 조사우선순위

2002년 9월 경이적인 강우량(최대 시우량 78.5mm/hr, 최대 일강우량 871mm/day)을 보인 태풍 루사(RUSA) 등 다수의 태풍과 집중호우에 의해 수많은 절토사면 붕괴가 발생하였다. 이에 2003년에는 2002년 붕괴 절토사면에 대한 조사와 분석을 통해 국내 절토사면 주요 붕괴 요인을 암석의 결, 풍화도, 지하수 누수 등 3개 요인으로 선정하여 이를 근거로 집중강우 특성을 고려한 조사우선순위 기법을 새로 개발(5개 위험등급별 분류)하였다(표 2.3, 그림 2.3 참조).

(표 2.3) 위험등급 분류

등급	기준
A 등급	붕괴 발생요인이 발달하고 있지 않으나 강우 등의 영향을 받는 절토사면으로 예상치 못한 붕괴 시 피해가 미비할 것으로 사료되는 절토사면
B 등급	붕괴 발생요인이 발달하고 있지 않으나 강우 등의 영향을 받는 절토사면으로 예상치 못한 붕괴 시 피해가 예측되므로 상시점검을 통한 주기적인 관리가 요망되는 절토사면
C 등급	붕괴 발생요인 중 1개 이상의 요소가 상존하는 위험한 절토사면으로 장기적인 계획을 수립하여 현장조사에 의한 안정성 해석 및 대책안을 필요로 하는 절토사면 - 동일 등급 내에서 위험도에 따라 C1(암석의 결), C2(풍화도), C3(지하수)로 분류
D 등급	붕괴 발생요인 중 2개 이상이 해당되어 점검계획을 수립하여 조사 및 대책이 요구되는 절토사면 - 동일 등급 내에서 위험도에 따라 D1(암석의 결+풍화도), D2(암석의 결+지하수), D3(풍화도+지하수)로 분류
E 등급	3개의 붕괴 발생요인이 상존하고 있어 매우 위험한 상태로 전문가의 소속한 정밀조사와 대책이 강구되어야 할 절토사면

2.3 현장조사, 안정성 해석 및 대책안 제시

조사우선순위가 결정되면 현장조사, 안정성 해석 및 대책안 제시 등의 업무를 수행한다. 현장조사를 통하여 사면 안정에 영향을 주는 각종 자료를 수집하며(표 2.4 참조), 절토사면 현황도 작성, 현장시험 등이 포함된다. 현장조사를 통해 획득된 자료를 바탕으로 절토사면 구성재료와 이에 따른 역학적인 거동 특성에 따라 암반절토사면, 토사 절토사면 및 이들의 혼합으로 구성된 혼합절토사면으로 구분하여 안정성 해석을 수행한다(그림 2.4 참조). 또한, 대책이 요구되는 절토사면의 경우 지역적 특성, 안정성 해석 결과, 공사비, 주변 환경과의 조화 등을 고려하여 항구적인 대책안을 제시하고 있다.

(표 2.4) 절토사면 현장조사에 의한 획득자료

항목	내용
현황	a. 위치 및 작성자 : 행정소재지, 작성자, 조사일, 날씨, 코드, 위경도, 거리표 b. 도로 : 노선, 방향, 차선수, 도로폭, 이격거리, 낙석포획거리
절토사면 및 상부자연사면	a. 주변지형 특성 b. 절토사면 특성 : 구성재료, 연장, 높이, 경사 및 경사방향, 종·횡단 형상, 도로선형 c. 상부자연사면 특성 : 경사, 인장균열, 포행흔적, 수목의 기울어짐, 인공구조물, 식생
지질	a. 암종 b. 풍화정도 c. 주요 불연속면의 종류 및 방향 d. 암반형태 e. 암색 및 풍화암색 f. 강도 : 슈미트해머시험 g. 토층심도

불연속면 특성	a. 불연속면의 종류 b. 기하학적 특성 : 방향, 연장, 간격, 틈, 충전물, 거칠기
수리특성	a. 절토사면의 누수 상태 : 누수 정도, 누수 위치 b. 집수 지형 존재 여부
시공현황	a. 시공된 공법의 종류 b. 시공 위치 c. 상태 : 노후, 파손여부
붕괴이력	a. 붕괴 유형 b. 붕괴 위치 c. 붕괴 규모 : 폭, 길이, 깊이, 높이
기타	-

사면의 데이터베이스 자료를 근거로 이루어졌다. 또한, 호주(Joyce and Evans, 1976), 홍콩, 일본철도, 미국(Pierson et al., 1990) 그리고, 국내의 투자우선순위기법을 분석하여 참고하였다. 절토사면 붕괴의 예상피해점수는 직·간접적인 피해규모를 반영한 것이다. 직접적 피해는 인명과 재산피해를 반영한 것이고, 간접적 피해는 절토사면붕괴에 의한 교통두절 등 사회적 손실을 의미하는 것이다. 예상피해점수는 평균 교통량 위험성, 일별 교통량, 도로폭, 절토사면과 도로의 이격거리 등에 의해 결정된다.

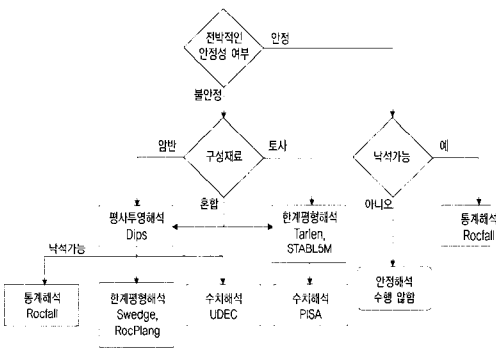
2.5 위험절토사면 상시계측시스템 운용

2002년 제15호 태풍 '루사'와 2003년 제14호 태풍 '매미' 등의 기록적인 강우의 영향과 계절라성 집중 강우에 의한 영향 등 예측하지 못한 집중 강우에 따른 절토사면의 붕괴와 해빙이나 불특정난 시기에 절토사면의 불확실적인 요소에 의한 절토사면의 붕괴 등이 빈번하게 발생하고 있으며, 이를 예방하거나 최소화하기 위한 재해예방시스템이 요구되고 있다.

재해 예방 시스템의 일환으로 최첨단 IT(Information Technology) 기술을 절토사면에 접목시켜 상시계측시스템을 개발하게 되었다. 절토사면 상시계측시스템은 잠재적인 붕괴 징후나 장기적인 지반 변위 양상을 실시간으로 계속함으로써 사전에 차량 이동의 차단, 인명 대피 등에 의한 응급조치를 취하여 인명 피해를 최소화 하는데 목적이 있다.

(1) 위험절토사면 상시계측시스템 운용체계

각 상시계측시스템 절토사면에 설치된 데이터로거는 각 계측기 센서의 지반 변위와 강우량계를 통한 강우량 정보를 수집하게 된다. 데이터로거에 수집된 정보는 한국건설기술연구원 내 설치된 "절토사면 상시계측시스템 상황실"의 무선모뎀을 통해 전송하게 된다. 계측관리치가 설정된 각 계측기에서 계측관리치 이상의 변위가 발생하게 되면, 상시계측시스템 프로그램에 경고창이 나타나게 되

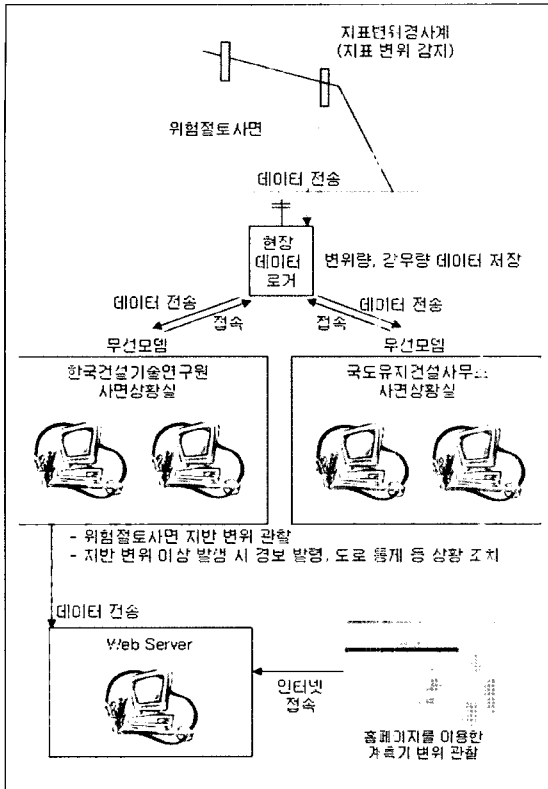


〈그림 2.4〉 절토사면 구성 재료별 안정성 해석 수행 모식도

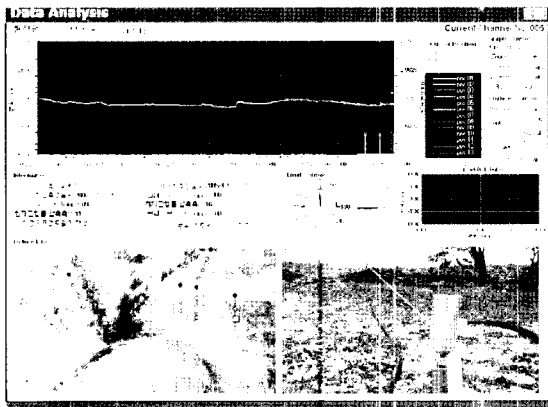
2.4 투자우선순위결정

투자우선순위결정은 한정된 국가예산을 고려하여 현장 조사가 이루어진 절토사면을 대상으로 이루어진다. 투자우선순위의 총점은 위험성과 예상피해점수의 합이다. 위험성은 절토사면의 불안정성을 반영하는 것이고, 예상피해점수는 절토사면 붕괴시 예상되는 인명 및 재산피해 규모이다. 예를 들어, 시공의 위험성이 높은 사면이 분포할 경우와 상대적으로 위험성이 낮은 도심지 분포 절토사면의 경우, 전자는 위험성은 높지만 예상피해점수는 낮아 후자보다 낮은 총점을 가지게 된다. 절토사면의 위험성은 불안정성을 야기하는 절토사면의 경사각, 높이, 지하수 누수, 불연속면의 특성 등 주요 인자들로 구성되어 있다. 불안정 요소를 구성하는 각 인자들의 중요도 평가는 기존의 투자우선순위기법을 통하여 분석하였으며, 1998년부터 1999년 동안 한국건설기술연구원에서 수행한 413개 절토

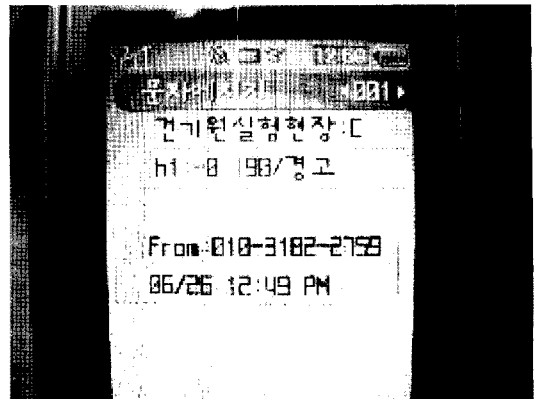
고, 동시에 건설교통부, 국토유지건설사무소, 한국건설기술연구원 등의 담당자에게 문자메세지가 전송되어 즉각적인 대처를 할 수 있도록 한다(그림 2.5~2.7 참조).



〈그림 2.5〉 상시계측시스템 운영체계



〈그림 2.6〉 상시계측시스템 프로그램



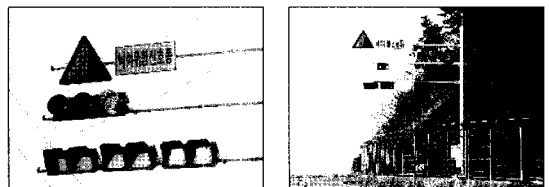
〈그림 2.7〉 경고발생 문자 메시지

(2) 낙석신호등 운용

도로절토사면에 위험 징후 발생시 도로 이용자에게 주의 요함과 붕괴시 관리자의 현장 도착전까지 자동적으로 도로의 일시적 차단에 의한 피해 예방을 위해 낙석신호등을 시범 운용하고 있다. 이는 도로절토사면 상시계측시스템과 연계하여 변위나 붕괴발생시 자동 및 원격 제어를 통한 조기경보 교통차단 시스템 가동을 위한 것이다. 다음의 그림 2.8에 낙석신호등 구성도를 나타내었으며, 그림 2.9에 운영중인 낙석신호등 모습을 나타내었다.



〈그림 2.8〉 낙석신호등 구성도



〈그림 2.9〉 낙석신호등 설치 전경

(3) 절토사면 CCTV 운용

최근에는 절토사면 CCTV를 활용하여 평상시 절토사면 전방 도로 상황(교통 흐름 등)을 확인하다 절토사면에 설치된 상시계측시스템의 이상변위 감지시 자동으로 변위 부를 실시간 촬영하는 시스템을 도입하여 시범 운용중에 있으며, 향후 상시계측시스템, 낙석신호등, 절토사면 CCTV가 통합된 실질적인 실시간 모니터링 시스템을 구축할 계획이다.

2.6 도로절토사면 데이터베이스

데이터베이스 시스템은 지리정보시스템을 이용하여 수집된 모든 자료를 저장하여 자료 이용을 극대화하는데 이용된다. 데이터베이스 시스템은 자료저장의 극대화, 그래픽 호환, 자료 색인 등을 효율적으로 운영할 수 있도록 이루어져 있다. 향후 데이터베이스 시스템은 인터넷을 통하여 일반인들에게 제공될 예정이다. 다음의 표 2.5에 절토사면 데이터베이스 시스템 개발 연혁을 나타내었다.

[표 2.5] 도로절토사면 데이터베이스 시스템 개발 연혁

개발년도	시스템 개발
1998	- 시스템 개발 방향 설정 - 시스템 개발
1999	- 검색엔진 강화 및 다양화 - 통계처리기능 개발 - 우선순위 점수 산출 부여 - 전문가 시스템 환경 개발 - 사용자 인터페이스 보강
2000	- GIS시스템 구축 - 데이터 분석 기능 보완 - 도로망 주제도 활용 가능성 개발
2001	- 다중사용자를 위한 시스템 개발 - 도로망 주제도의 효율적인 이용
2002	- 클라이언트/서버 시스템 데이터베이스 구조 개편 - HMS 통합을 위한 거리표 이정체계 전환
2003	- 검색기능강화 - 정비현황 관리창 추가
2004	- 정비현황 자료의 지속적인 확보 - 신설 노선 내 절토사면 현황자료 수정·보완

2005	- 정비현황 자료의 지속적인 확보 - 신설 노선 내 절토사면 현황자료 수정·보완
2006	- 국도 6,000 km에 대한 현황자료 수정·보완 - 정비현황 자료의 지속적인 확보 - 신설 노선 내 절토사면 현황자료 확보 - 새로운 현황자료 화면창 개선 - 조사자료의 데이터베이스 검수·변환 프로그램 개발

3. 결론

전세계적으로 재해예방에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이에 국가차원의 대책방안을 마련하여 국민들의 도로 이용 안정성 확보와 함께 대국민 신뢰성을 구축하고 있다. 선진국 대열에 합류하는 국내 정치, 경제의 위상 제고와 함께 절토사면 재해에 대한 국가적 관심이 고조되고 있다.

도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운영에 대하여 다각도로 기술성, 효율성, 적용성에 입각하여 연구개발하고 있으며, 본 시스템의 최종 목표는 향후 전국 산사태 유지관리시스템으로 확대 개발하여 전국토를 대상으로 국가차원의 방재정책수립에 기여하는 것이다. 최근, 사면구조물 관련 기술 선진국에서는 사면구조물 붕괴피해에 대한 사회보험제도를 정착시키고 있으며, 사면붕괴 피해저감을 위하여 일정량의 강우량이 내리면 도로를 일시적 폐쇄하는 경보시스템을 운영하고 있다. 경보시스템의 효율적인 운영은 강우량과 사면구조물 구성재료간의 역학적 상관관계가 매우 중요한 변수로 작용하고, 이를 보다 합리적으로 관리하기 위해 첨단기법을 이용한 무인 상시자동 계측시스템의 개발과 정착화 그리고, 국가차원의 경보시스템의 구축이 필요하다고 할 수 있다.

참고문헌

- 구호본(1992), 산사태 데이터베이스 시스템에 대하여, 건설기술정보, 제79호.
- 구호본(1995), 국가적 차원의 지반조사 데이터베이스시스템 체계구축, 건설정보관리, 제7호.
- 한국건설기술연구원(1998), 도로절개면 유지관리시스템 개발

- 및 운용 I, 건설교통부.
- 한국건설기술연구원(1999), 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 II, 건설교통부.
- 한국건설기술연구원(2001), 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 III, 건설교통부.
- 한국건설기술연구원(2002), 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 IV, 건설교통부.
- 한국건설기술연구원(2003), 2002년도 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용, 건설교통부.
- 한국건설기술연구원(2004), 2003년도 도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용, 건설교통부.
- 한국건설기술연구원(2005), 2004년도 도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용, 건설교통부.
- 한국건설기술연구원(2006), 2005년도 도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용, 건설교통부.
- 한국건설기술연구원(2007), 2006년도 도로절토사면 유지관리시스템 운용업무 연구보고서, 건설교통부.