

GIS를 이용한 위험사면 분석고찰

Risk Analysis and Consideration of a Cut Slope on Highway Using GIS

곽영주* · 조형진** · 정재형*** · 강인준****

* 학생회원 · 부산대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사(maestro99@hanmail.net)
** 학생회원 · 부산대학교 토목공학과 석사과정(mjhj0774@hanmail.net)
*** 교신회원 · 일본 재단법인 지역지반환경연구소 연구원 · 공학박사(jon@geor.or.jp)
**** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 교수 · 공학박사(ijkang@pusan.ac.kr)

1. 서론

우리나라 지형특성상 전체 국토 70% 이상이 산지로 구성되어있으며 기후특성으로 매년 반복되는 집중호우, 태풍 등 자연재해로 인하여 국토 접도사면 붕괴의 인적, 물적 피해가 막대하게 발생하고 있다. 현재는 그 피해를 긴급예산을 집행하여 사후복구 방법으로 해결하고 있다. 이러한 피해는 물류공급과 도로망 유통에 치명적으로 작용함으로써 국가 경제적·산업적 효율화가 감소되고, 반복되는 재해로 인하여 국가 및 국민 재산피해가 증가하고 있다.

따라서, 사면에 대한 위험도 관리에 따른 각종 재해, 재난 사고, 붕괴 발생을 미연에 방지하고 도로피해를 최소화 하는 관리 기술이 필요하다. 이와 더불어 자연재해에 따른 사면 붕괴원인을 규명하고 특히 강우시 사면의 안정성 검토 및 효과적인 보완대책에 대한 연구가 절실히 요구된다. 그 피해를 최소화하기 위해서는 기존 피해에 대한 분석과 그 양상을 파악하는 것 또한 매우 중요하다.

사면붕괴에 대한 연구는 국내 및 국외에서 다방면으로 시도되고 있으나 주로 산사태의 원인분석에 관한 연구로 위험도 평가를 중첩에 의한 방법이 적용되고 있다. 국외의 경우 모든 붕괴원인을 제시하고 지질 조건, 습곡, 단층, 강우, 공결, 융해, 과거의

불안정성, 암석시료의 강도와 풍화, 절리방향, 연속성, 암석전단강도 등과 같은 역학적 성질, 수리조건, 사면방향, 사면 형태, 잠재적 불안정성 등을 제시하며 중첩분석 하였다.

본 연구에서는 접도사면의 유지관리에 따른 정기점검의 방법을 GIS를 적용하여 사면의 영상을 취득한 후 전문가가 모니터링하는 방안과 붕괴발생지역의 특성 파악으로 사면에 대한 법면 데이터 크기, 종류 및 범위를 고려하여 GIS를 기반으로 하는 데이터베이스를 구축하였다.

2. 위험사면 관리

2.1 사면의 정의

사면은 자연사면과 인공사면으로 나눈다. 이중 인공사면은 절토사면과 성토사면으로 나뉘며, 절토사면은 도로 및 철도의 개설을 위한 도로 사면과 철도 사면, 터널 입출구부, 정지 작업에 의한 갱구부 사면, 댐좌우안 사면, 기타 부지 확보를 위해 절토한 부지 사면 등이 있다.

성토사면은 도로개설을 위한 노반 성토사면, 제방이나 댐의 제체 사면, 기타 부지 확보를 위한 성토사면 등이 있다. 절토사면은 자연적으로 형성된 지반에 인위적인 변형을 가해서 조성된 구조물이기 때문에 구성 재료 특성에 따른 풍화, 세굴 등의 열화

현상에 의해 일관된 안정성을 확보할 수 없으므로 지속적인 유지관리가 필수적이다. 절토사면은 시.종점부의 계곡부를 기준으로 연속된 동일 절토부로 구성되어 있을 때 단일 절토사면으로 본다. 단, 절토부내 계곡부가 위치하는 경우 절토된 계곡부 높이가 5m 이하 일 때는 계곡부를 경계로 사면을 분할한다. 절토사면 시종점부 범위는 준공도면상의 절토구간을 기준으로 한다. 다만 사면의 연장이 긴 경우 사면의 방향이 바뀌거나 암종 등의 지반조건이 변하는 지점에서 영역을 나누어 안정해석상의 편의를 도모할 수 있다.

2.2 사면의 정기점검

절토사면의 안정성이나 붕괴여부, 붕괴시기, 붕괴규모, 피해정도 등을 예측하기란 매우 어렵기 때문에 상기의 불확정요소를 보완하고, 절토사면붕괴를 미연에 방지하여 피해를 최소화하기 위해 정기적인 안전점검을 실시해야 한다. 절토사면의 안전관리와 관련한 정기점검은 정밀점검과 긴급점검으로 분류한다. 폭우, 태풍, 지진 등의 긴급상황 또는 시설물의 이상발생시 긴급점검을 수행하며 필요에 따라 정밀안전진단을 시행한다. 점검 및 진단 결과 안전조치를 이행할 경우는 보수·보강 공법을 적용하는 업무흐름을 가진다.

정기점검은 경험과 기술을 갖춘 자가 시설물의 손상이나 결함을, 조기에 발견하고 시설물의 기능적 상태를 판단하며 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위한 육안검사 수준의 점검으로서 GIS를 이용한 예측방법으로 점검의 효율성을 향상시키는 것이 필요하다.

2.3 사면의 붕괴형태

사면붕괴는 자연사면에서 토사나 암석이 대규모로 무너져 내리는 현상을 산사태로, 건설공사 절토사면에서 토사나 암석이 대규모로 무너져 내리는 현상을 절토사면붕괴로

구분한다. 즉, 산사태는 기반암 및 토사의 성질, 사면의 형상, 강우, 지하수 상태 등의 복합적인 요인에 의해 산악지형의 자연사면에서 주로 발생되며, 절토사면붕괴는 건설공사로 생성된 절토사면의 절토부에서 발생하거나 절토사면과 근접한 상부 자연사면에서 복합적으로 발생하여 그 피해가 절토사면 및 그 하부에 위치한 도로 등의 시설물에 직접적으로 영향을 미치는 현상으로 정의한다.

절토사면의 붕괴유형은 블록파괴, 활동파괴로 나눈다. 블록파괴는 암반내의 불연속면에 의해 발생하는 활동면 형상에 따라 썩기파괴, 평면파괴, 전도파괴로 구성된다. 썩기파괴는 두 방향의 불연속면의 조합에 의해 발생한 썩기면을 따라 발생하는 활동을 말하고 평면파괴는 한 방향의 불연속면이 사면과 동일방향이고 마찰각보다 큰 각으로 경사져 있을 때 발생하는 파괴를 말한다. 또, 전도 파괴(toppling)는 암석 블록들이 어떤 기준점 혹은 기준축을 중심으로 하여 중력에 의해 회전하면서 사면의 파괴를 발생시키는 유형이다.

활동파괴는 연속체적 거동에 의한 붕괴양상을 활동파괴라 하며 전형적인 활동면 형상을 가지는 블록파괴(썩기, 평면, 전도파괴)와 달리 다양한 활동면 형상을 가지는 붕괴를 총칭한다.

3. 위험사면 모델링 분석

3.1 연구모델

건설교통부 부산지방국토관리청 산하 진영국도유지관리소 관할 절토사면의 자연재해시의 붕괴사면을 분석하였다. 특히 여름철에 집중되는 태풍과 강우로 인한 붕괴가 대다수를 차지하고있다. 사면 붕괴 유형을 파악한 후 위험관리의 기준인 붕괴인자 추출을 하여 위험사면 데이터를 구성하였다. 연구대상 지역으로 진영국도유지관리소 관할 국도 중 가장 많은 절개사면이 존재하

고, 이에 따른 자연재해로 인한 붕괴가 빈번하게 발생하는 국도 24호선을 연구모델로 정하였다. 24호선 중 사면붕괴가 밀집되어 있는 밀양시 산내면과 울주군 상북면의 49개소를 분석하여 모델을 제시하였다.

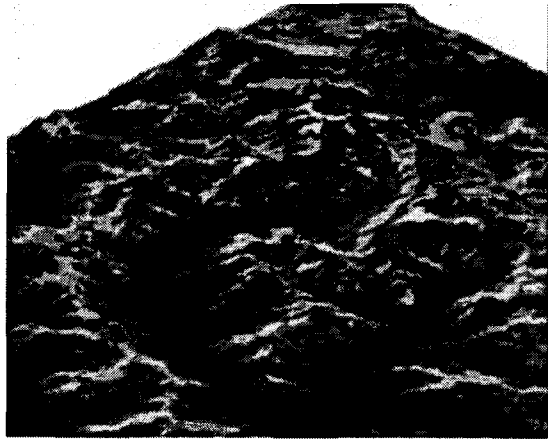


그림 1. 연구모델 지역(국도24호선)

그림 1에서 연구모델지역은 국도 24호선 경상남도 언양시 상북면~밀양시 산내면 46km 구간이다. 광역권에 해당하는 지형도 1/250,000축척을 사용하여 등고선만을 추출한 후 TIN기법으로 3차원 모델을 구축하였다. 실제 모니터링과 비교분석하며 3차원 지형모델을 형성하였고 국도 24호선을 표현한 결과 사면붕괴가 집중적으로 발생하는 지역을 확인할 수 있었으며 집중분포지역을 중점적으로 붕괴모델로 선정하였다. 대부분 화강암 풍화토 및 심성/반심성암으로 분포, 구성되어 있으며 사면 표층으로부터 층리 및 엽리의 발달로 잘게 부서지는 특성을 가지고 있었다. 연구모델 지역의 절토사면을 현장 정기점검 시행과 병행하여 사면 영상

을 취득한 후 모니터링 기법을 적용하였고 그림 2에서 제시하듯이 GIS를 적용한 모니터링 방법으로 사면 붕괴관리를 과학적으로 수행할 수 있었다.

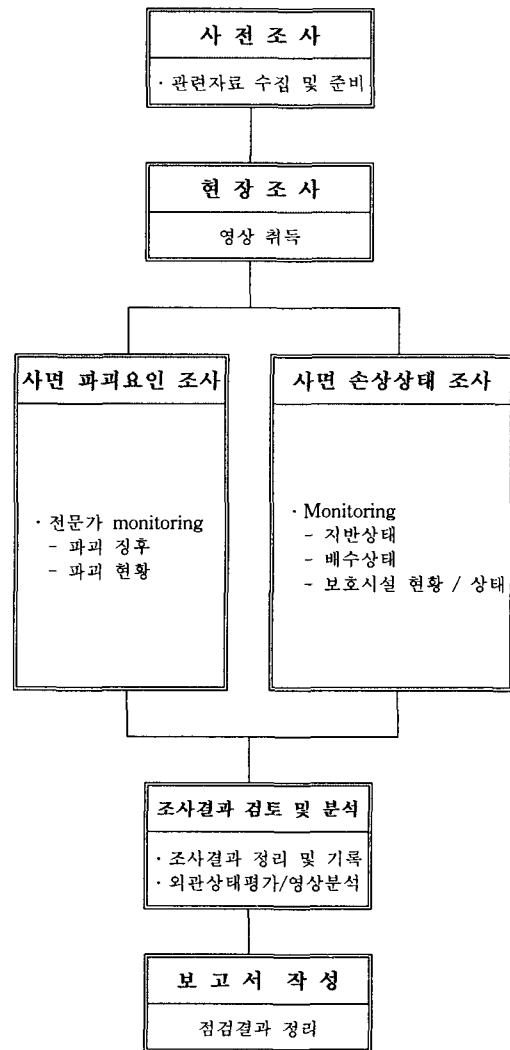


그림 2. 사면 모니터링 흐름도

표 1. 붕괴형태별 관련성

리스트	분류	49 (개소)
붕괴유형1	쇄기파괴	4
붕괴유형2	원호파괴	1
붕괴유형3	전도파괴	4
붕괴유형4	평면파괴	6
붕괴유형5	복합파괴	7
붕괴유형6	동시 파괴	6
붕괴유형7	낙석 or 표층유실	21

3.2 붕괴사면 분석

사면의 여러 붕괴형태 중에서 썩기, 원호, 전도, 평면파괴가 위험하다. 그 결과, 사면붕괴의 위험단계를 파괴유형으로 대분류한다. 낙석과 표층 유실은 그에 수반되는 하나의 작은 현상으로 감지되며 파괴정후로 이어지는 잠재 위험요소가 가장 높은 유형으로 분석하였다.

국도 24호선 연구모델 중 사면붕괴가 밀집되어 있는 밀양시 산내면과 울주군 상북면의 49개소를 분석한 붕괴형태별 관련성을 분류하면 표 1과 같이 제시된다.

국도24호선에서 가장 빈번히 발생하는 파괴유형 중 낙석 및 표층유실로 대표되는 특성을 표 2에서 제시한 표층 분석 결과이다.

3.3 위험사면 모니터링

본 연구에서는 국도 24호선 위험사면을 현장 모니터링하여 Arc/View 3D Analyst로 접도사면의 경사를 추출하는 중첩분석을 수행하였다. 관리명 언양상북 산전 사면의 위도 35° 36' 09", 경도 129° 02' 11"인 현장위치와 관측경사 45°, 절개면 길이 74m, 사면높이 11.7m 로서 그림 3에서 표현한 대표사면을 검색하였다. 실제 현장관측 경사와 프로그램 중첩분석으로 추출한 경사와 유사함을 알 수 있었다. 이러한 사면 정보를 Map Object를 이용하여 데이터베이스(DataBase)로 구축하였고, 자체적으로 개발단계에 있는 모니터링 시스템에 적용하였다.

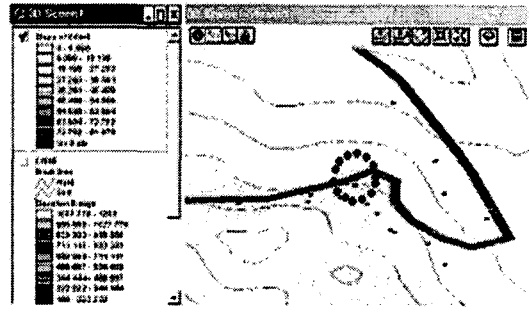


그림 3. 붕괴 집중지역 경사도 분석

그림 4에서는 ERD(Entity Relational Diagram)로 구현한 사면의 범면 데이터를 DataBase화하기 위한 모델링이다. 붕괴 집중지역의 경사분석시 적용된 대표적인 사면을 선정하여 Map Object 프로그램으로 관리사용자 환경에 맞추어 설계되었다. 사면 데이터를 모니터링시스템으로 표현함으로써 사면의 속성데이터를 관리 담당자가 자료를 검색 및 조회 할 수 있도록 그림 5와 같이 구성하였을 뿐만 아니라, 사면의 데이터나 사면조건을 입력할 수 있도록 Map Object 프로그램으로 구축하였다.

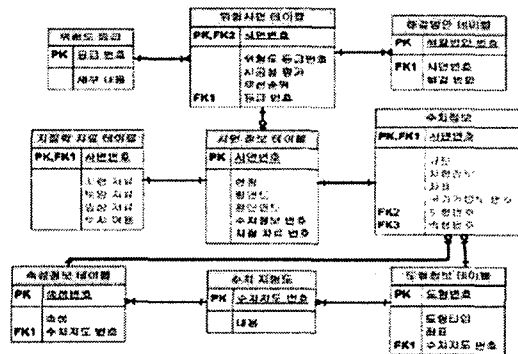


그림 4. 사면에 대한 범면 데이터

표 2. 표층분석 결과

관련 체크 리스트	특성
사면 형태	암사면(16/21) 혼합사면(5/21)
경사	42~80
geography	산악(5/21) 준산악(16/21)
상부사면경사	20~35
암종	심성암/반심성암(16/21)
암상	화강암류(13/21)
friction value	25-44

접도사면 모니터링 시스템은 그림 5에서와 같이 수치지형도 상에서 사면의 정확한 위치를 확인하고, 그 자료 검색도 가능하게 한다. 그리고, 전문가에 의한 모니터링 절차로 사면 정보를 빠른 시간 내 입력, 수정할 수 있다. 또한, 프로그램을 이용하여 모니터링 결과를 사면 속성 정보값으로 활용함으로써 현장의 일상점검 결과와도 비교할 수 있다.

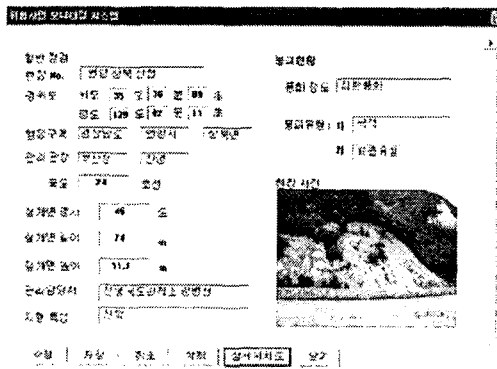


그림 5. 위험사면 모니터링 시스템

4. 결론

본 연구에서는 사면관리의 선행단계가 되는 정기점검상황으로 모니터링한 결과를 바탕으로 잠재 위험요소가 가장 높은 유형의 사면붕괴요소를 비교분석하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 붕괴유형별 결과와 같이 아주 다양한 측면에서, 동일하지 않은 조건으로 붕괴형태가 반복적으로 발생하고 있다. 그 대책공법이 적용됨에도 불구하고, 집중강우나 태풍에 대해서는 여전히 예측 및 관리가 힘들다. 이러한 경제적 예측이 불가능한 조건에 대해서 안정된 사면을 모니터링 시스템으로 집중관리 하여야 한다.

둘째, 연구지역 국도 24호선 49개의 붕괴

유형에 따른 데이터베이스를 구축함으로써 위험사면 모니터링 시스템을 구축하였다. GIS를 활용한 모니터링 데이터관리를 함으로써 사면관리를 과학적으로 접근할 수 있으며 국도 유지관리 시 전문성을 보완하는 시스템으로서 역할을 도모한다.

셋째, 5년간의 데이터를 분석한 결과 붕괴유형에 따른 경우가 제한적이고 따라서, 지속적인 데이터 관리와 수집을 통하여 붕괴유형에 따른 위험도 등급을 수치화하는 것이 우선되어야 한다. 집중호우, 강우, 재해 등의 위험요소를 증가시키는 인자를 부여하였을 경우 위험도를 예측할 수 있는 시스템으로서의 접근도 필요하다.

앞으로 통계분석을 활용한 GIS기법을 적용하여 위험 절개사면 뿐만 아니라, 붕괴위험이 적은 사면에서 집중강우나 태풍과 같은 재해로 예상치 않은 붕괴현상을 예측하는 방안을 연구한 후 위험사면 분석 및 관리시스템의 GIS 예측기법을 지속적으로 연구할 필요성이 있다.

참고문헌

1. 강인준 (2000~2003), “원격탐사와 지형공간 정보를 이용한 재해 예측”, 한국과학재단
2. 양인태(2001), GIS와 AHP법을 이용한 산사태 유발인자 분석”, 한국측량학회지, 제19권 3호, pp. 273~281
3. 한국건설기술연구원(2003), 도로절토사면 유지관리지침, 건설교통부
4. 이사로, 지광훈, 박노옥, 신진수(2001) 산사태와 지형공간정보의 연관성 분석을 통한 장흥지역 산사태 취약성 분석, 대한자원환경지질학회지, 제 34권, 2호, pp. 205~215
5. 정형석, 유병옥(1996), “지질특성에 따른 암반사면 붕괴 유형연구”, 한국지반공학회지, 제 12권, 6호, pp. 37~49

6. 이사로(2000), "지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구", 연세대학교
7. Yoon Hoon-Joo , Ryu Joong-Hi, Kim Jung-Dai, Park Hong-Gi(2001), "Applying Enterprise GIS to Disaster Management at Kangwon Province", 한국지형공간정보학회, Vol.9. No.2, pp. 29~37
8. 문용현(2001), "국토모니터링체계 구축 계획", 한국지형공간정보학회 2001 학술세미나 Vol.0. No.0, pp1~13
9. 강준목, 윤희천, 이형석, 강영미(2001), "국가 GIS와 기본지리정보/WebGIS를 이용한 침수예측시스템", 한국지형공간정보학회 2001추계학술발표회 개요집. Vol. o. No.0, pp.53~62
10. 조명희, 오정수, 조윤원, 백승렬(2001), "GIS를 이용한 산불 현황정보 검색시스템 개발", 대한원격탐사학회 2001 학술대회 논문집, pp.49~55
11. 박노옥(2001), "예측비율곡선을 이용한 GIS 기반 산사태 예측 모델의 정량적 비교", 대한원격탐사학회지, Vol. 17. No. 3, pp.199~210