

도시지역 사면관리 시스템 연구

Slope Management System of Urban Area

김 경 수 (Kim, Kyeong-Su)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
최 영 섭 (Choi, Young-Sup)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
이 춘 오 (Lee, Choon-Oh)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
채 병 곤 (Chae, Byung-Gon)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
조 용 찬 (Cho, Yong-Chan)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
김 원 영 (Kim, Won-Young)	한국지질자원연구원 환경지질연구부

1. 서 론

도시지역에서 발생하는 산사태와 절취사면 붕괴는 다른 지역보다 많은 인명과 재산피해를 야기하므로, 사면을 효과적으로 관리하고 피해를 예방하기 위해서는 사면관리시스템 구축이 필요하다. 사면관리시스템은 사면의 안정성과 관련이 있는 지질요소에 대한 데이터베이스를 구축하여 사면을 관리할 수 있도록 하는 것이다. 사면관리시스템을 구축하려면, 첫째, 연구지역을 선정하고, 둘째, 조사·분석을 통하여 사면관리시스템을 구축하고, 셋째, 이를 도시 전역의 사면에 대해 적용함으로써 시스템구축을 완성하는 것이 적절한 방법이다. 사면관리시스템이 완료되면 안정성평가 및 붕괴예측이 가능한 각종 도면이 작성되며, 이를 토대로 도시 전역에 대한 사면관리시스템 구축방안이 수립될 것이다. 사면자료를 수치정보화한 사면관리시스템은 GIS기반으로 인공사면과 자연사면에 대해 실내/현장조사, 시험/분석 자료를 체계적으로 입력/관리함으로써 사면붕괴 예측 및 피해예방 또한 가능할 것이다.

연구지역은 부산의 황령산일대로서 지리좌표상으로는 동경 129° 06' 00"~129° 06' 50", 북위 35° 09' 00"~35° 10' 04"에 해당한다. 자연사면과 절취사면으로 구분한 다음 개개 사면을 분류, 코드화하여 통일된 양식에 의해 사면조사를 실시하였다. 또한, 이들 자료를 데이터베이스화 하였으며, 관리시스템을 구축하였다.

2. 사면관리시스템 구축

기본 GIS주제도

기본도는 부산도폭 1/5,000 수치지형도 6도엽과 1/50,000 수치지질도가 이용되었으며, 위성영상으로는 IRS-1C, LANDSAT 영상을 사용하였다.

사면관리시스템에서 사면위치, 위치별 지형/지질특성 및 주변환경을 쉽게 파악할 수 있도록

록 여러가지 GIS주제도와 영상자료를 제작하였다. 그림 1에서와 같이 수치지형도 6도엽을 통합하고 등고선으로부터 DEM을 추출하여 경사도, 경사방향도, 음영기복도를 제작하였다. 그리고 수치지질도로부터 단층선과 암상 레이어를 추출하였으며, 지형자료와 함께 사면위치의 지형/지질특성을 쉽게 파악할 수 있도록 사면관리시스템의 배경자료로 사용하였다.

시스템설계

시스템은 Windows 98이나 Windows 2000 Pro 운영체제에서 수행되도록 하였으며, 개발 도구로는 Visual C++ 6.0과 Mapobject 2.0을 사용하였다. 그림 2는 사면관리시스템 체제를 나타낸 것으로 조사내용, 시험자료 및 현장사진 등 사면자료의 입력/편집/출력/관리/운영이 쉽고 편리하도록 설계하였으며, 조사위치는 컴퓨터화면상의 지도를 보거나 좌표값을 입력해 확인하도록 하였다. 그리고 입력된 자료는 언제든지 수정 및 삭제가 가능하도록 하였다. 배경자료로 이용된 지형도, 지질도, 위성영상, DEM, 경사도, 경사방향도 및 음영기복도 등을 효율적으로 관리할 수 있는 공간데이터 관리기를 두었다.

사면자료는 화면과 프린터로 출력이 가능하도록 하였으며, 데이터베이스 인터페이스를 통해 사면조사 데이터베이스와 시스템을 연결할 수 있도록 하였다.

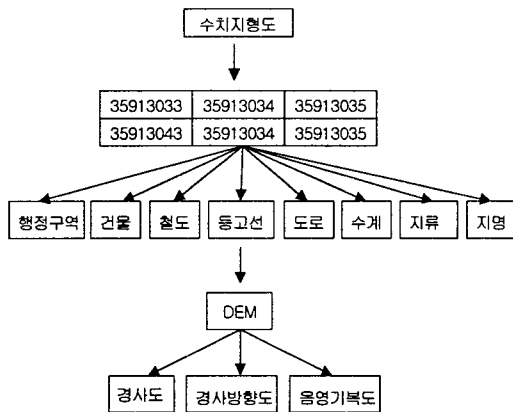


그림 1. 기본 GIS주제도 제작과정

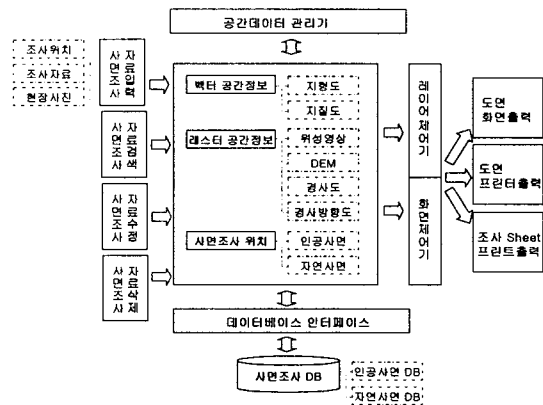


그림 2. 도시사면관리시스템 설계

프로토타입

그림 3은 연구지역의 사면관리시스템이다. 배경화면으로 IRS-1C와 LANDSAT TM 컬러 합성영상과 지형도를 중첩하여 사용하였다. 화면의 상단에는 파일, 인공사면, 자연사면, 편집, 도움말 메뉴가 있고, 바로 아래에는 화면을 제어(확대, 축소, 전체보기, 이동)할 수 있는 아이콘과, 사면조사자료 레이어를 추가하고, 입력, 수정할 수 있는 아이콘이 위치하고 있다. 화면 좌측 윗부분은 화면을 제어하는 인덱스 창으로 쉽게 화면을 이동하거나 확대된 화면의 위치를 쉽게 알 수 있도록 해주고, 아랫부분은 시스템에서 사용하는 GIS주제도, 위성영상 및 사면정보를 제어해 주는 트리형태의 제어창이다. 사용자는 이곳 제어창에서 원하는 GIS

주제도의 레이어를 On/Off할 수 있다. 화면 제일 하단에는 마우스 커서가 가리키는 곳의 TM좌표가 표시된다.

그림 4는 절취사면 조사자료를 입력하는 화면이다. 사면자료 즉, 현황/위치, 지질/지형, 사면, 소단/식생, 옹벽/지하수, 배수시설/보호시설, 불연속면, 붕괴현황, 특기사항 및 보강대책, 설명/사면스케치/사진 항목을 하나의 다이얼로그 창에서 입력할 수 있도록 화면을 구성하여 자료를 쉽게 입력하고 수정하거나 삭제가 용이하도록 하였다. 자연사면 조사자료 입력화면도 절취사면 조사자료 입력 예와 유사하며, 화면상에서 조사위치를 나타내는 심볼의 모양을 다르게 표시하여 인공사면인지 자연사면인지 쉽게 구별할 수 있도록 하였다.

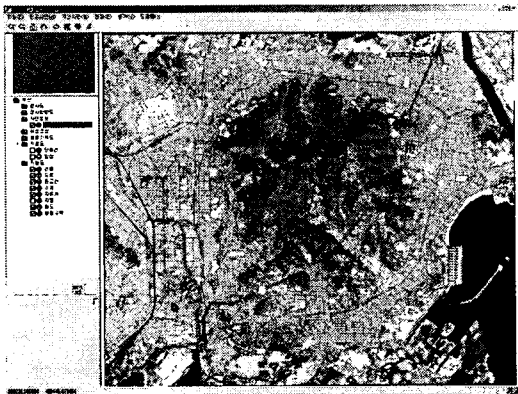


그림 3. 사면관리시스템

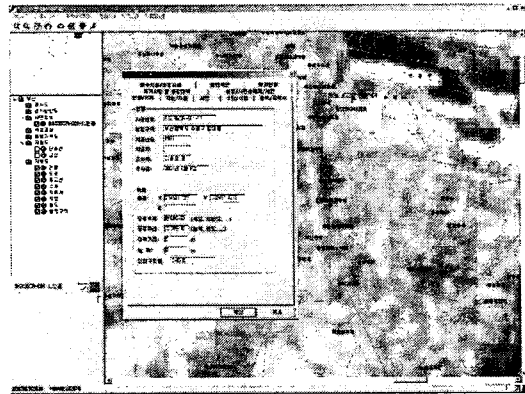


그림 4. 절취사면 자료입력

3. 사면자료 데이터베이스

코드번호 부여

조사도면은 1:5,000 지형도를 이용하여 도상에서 일련번호를 표기한 후 현장조사를 통해 각 사면의 최종적인 코드번호(code No.)를 부여하였으며, 산정(山頂)들을 기준으로 하여 도엽의 북쪽에서부터 동-남-서-북방향으로 진행함으로써 일관성을 기하였다.

사면은 자연사면과 절취사면으로 양분되는데, 이들은 활동 또는 파괴메커니즘이 다를 뿐 아니라 영향요소, 유형 및 피해양상이 다르기 때문에 코드번호를 구분하였으며, 조사, 시험, 해석 및 관리시스템 체계를 특성에 맞도록 적용하고 분류하였다. 우리나라의 경우 자연사면 산사태는 국지성이고 소규모적으로 발생(김경수, 2000)한다는 점을 감안하여 사면과 능선을 경계로 각각의 사면번호로 구분하였으며, N(natural slope)으로 표기하였다.

절취사면은 표면이 노출상태인 절취사면, 상부는 절취사면이고 하부는 옹벽으로 구성된 복합사면, 그리고 노출사면 없이 옹벽으로만 구성된 옹벽사면의 세 경우로 구별되는데, 절취사면은 C(cut slope), 복합사면은 CR(cut slope+retaining wall), 그리고 옹벽사면은 R(retaining wall)로 표기하였으며, 사면높이가 3m 이하인 절취사면은 대상에서 제외하였다.

코드번호의 예; BS035/N-001~, BS035/CR-001-1, 2~

- BS는 부산(Busan)의 영문약어
- 035는 1:5,000 조사기본도의 도엽번호
- N은 자연사면, CR은 절취사면의 영문약어
- 001은 각 사면들의 일련번호, 1, 2는 동일사면에서의 분리번호

사면조사 및 평가

자연사면에서의 산사태는 거의 대부분 토층에서 발생(김원영, 2000)하는 점을 감안하여 토층의 대표적인 위치에서 교란 및 불교란시료를 채취하여 실내시험을 통해 토질공학적 특성을 평가함으로써 해당지역에 대한 조사, 개발, 또는 데이터베이스의 수정이 필요할 경우 참고로 활용되도록 하였다. 또한, 절취사면은 개개 사면으로 독립되고 지질조건, 구조 특성 및 기하형태들이 다르기 때문에 개개 사면별로 구분하여 조사, 분석, 평가하였다.

조사양식은 자연사면과 절취사면으로 구분하였는데, 자연사면은 코드번호, 위치, 절취내역, 지형, 지질조건, 사면규모, 토층상태, 지하수상태, 인장균열, 식생 및 사태이력 등을 기재하고, 절취사면은 자연사면에서의 항목에 추가하여 사면방향, 형상, 소단, 배수로, 보호 및 보강시설, 그리고 불연속면의 암반공학적 요소 등을 기재토록 하였다.

- 자연사면 물성

토질특성을 대표할 수 있도록 코드분류된 각 사면에서 최소 1개 이상씩의 흙시료를 채취하여 실내시험을 실시하였다. 토층은 SW-SC, SC 또는 SM으로 분류되어 사질지반으로 분류되며, 대부분이 사면활동을 유발할 수 있는 몬모릴로나이트(montmorillonite)는 함유되어 있지 않은 것으로 보아 사면안정성이 비교적 양호한 지반인 것으로 생각된다.

점착력은 0.01~0.07의 범위를 보이는데, 이는 Holtz and Gibbs(1956)에 의하면 대체로 다짐도가 중간정도(medium dense)인 사질지반에 해당하는 값이다. 또한 전단저항각은 32~40°의 범위인데, 이는 직접전단에 의한 시험값이 삼축압축시험에 비해 약 10%정도 높게 나타난다는 점(김용필 외, 1997)을 감안하더라도, 연구지역은 대부분 전단저항각이 30°이상으로서, 비교적 전단강도가 높은 지반임을 알 수 있다.

투수계수는 $2.43 \times 10^{-4} \sim 4.40 \times 10^{-3}$ cm/sec로서 Das(1983)의 기준에 의하면 대체적으로 빠른편의 지반으로 분류된다. 소유역별로는 간극비와 간극율이 다른 지역에 비해서 상대적으로 높은 남쪽사면의 일부와 서쪽사면 일대들이 투수계수가 낮은 지역으로 분류된다. 반면, 대체로 높은 간극비와 간극율 분포를 보이고 고지대에 속하는 북서부 및 남부지역의 사면일대가 투수계수가 높은 지역으로 분류되었다.

- 로지스틱 회귀분석모델

사면의 구성물질 특성들이 사면활동에 기여하는 인자로서 작용하고 인자들의 상호작용으로 인해 산사태가 발생하며, 각 인자별 기여도에 따라 발생정도는 많은 차이를 나타낸다. 이

연구에서 산사태 가능성의 평가에는 김원영 외(2000)에 의해 기 제시된 확률론적 예측기법인 로지스틱 회귀분석모델(logistic regression model)을 적용하였다. 로지스틱 회귀분석모델은; 모든 변수를 이용한 로지스틱 회귀분석결과 추정된 계수들을 포함하고, 산사태의 영향 변수로 지형자료는 고도, 사면경사, 그리고 토질자료로는 암질, 건조밀도, 입도, 투수계수 및 간극율 등 7개의 변수를 이용해 다음의 로지스틱 회귀모형이 추정되었다.

$$\begin{aligned} \text{LOGIT} = & 1.4068 \times \text{Lithology1} + 0.1135 \times \text{Lithology2} + 0.0823 \times \text{Porosity} \\ & + 6.6785 \times \text{Dry density} - 10.3138 \times \text{USCS1} - 10.0153 \times \text{USCS2} \\ & - 11.5952 \times \text{USCS3} - 11.5204 \times \text{USCS4} - 1233.79 \times \text{Permeability} \\ & + 0.0087 \times \text{Elevation} + 0.1726 \times \text{Slope angle} - 10.7014 \end{aligned}$$

$$\text{산사태 발생확률} = \frac{\text{EXP}(\text{LOGIT})}{(1 + \text{EXP}(\text{LOGIT}))}$$

- 산사태 가능성도

그림 5는 조사 및 시험자료를 적용하여 최종적으로 작성된 산사태 가능성도이다. 여기에 서 보는 바와 같이 연구지역의 산사태 가능성은 최고 70% 정도이고, 대부분은 가능성이 낮은 지역으로 분류되었다. 그리고 낮은 확률이라고는 하나 50% 이상으로 분류되는 지역은 지형고도가 비교적 높은 지역에 해당한다. 연구지역에서 사태가 발생하였던 곳은 관찰되지 않았으며, 자료에 의해서도 사태이력은 없는 것으로 확인되었다. 또한, 통계적 기법에 의해서도 대부분의 자연사면은 가능성이 낮은 영역으로 분류됨으로써 연구지역의 자연사면은 산사태에 대해 비교적 안전한 지반을 형성하고 있는 것으로 사료된다.

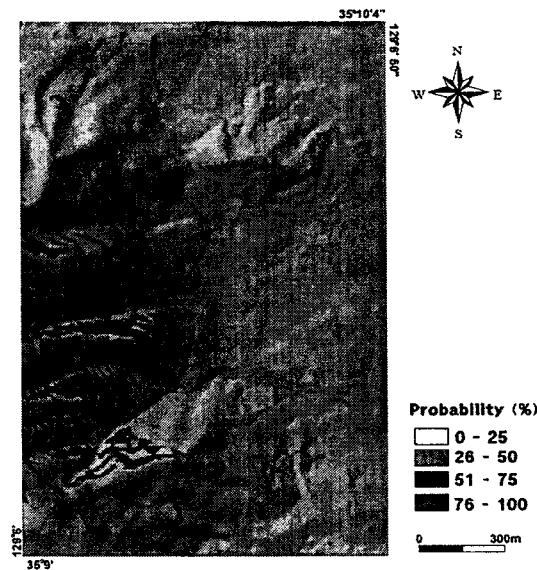


그림 5. 지질공학적 특성을 고려한 산사태 가능성도

- 절취사면 해석

절취사면은 사면을 구성하는 매질이 토양, 암반, 보호 또는 보강용 시설물 등이 다양하

게 존재하고 있다. 따라서 사면조사와 해석 또한 이들 다양성이 충분히 반영되어야 하기 때문에 자연사면에서의 조사항목 외에 암반 및 구조물 특성이 추가로 고려되었는데, 이들로는 사면방향, 형상, 토층두께, 소단, 배수로, 보호 및 보강시설 등이 조사되었다. 그리고 암반사면인 경우에는 불연속면의 간격, 연장, 틈새, 충전물, 거칠기, 강도 및 누수여부 등을 조사하고, 암괴크기와, 거칠기계수, 절리면강도 등을 산정과 사면안정성 해석을 실시하였다.

- 흙사면

사면안정성을 분석하는 방법은 대상사면의 종류에 따라 그 방법이 다르며, 일반적으로 대상사면을 흙사면과 암반사면으로 구분하여 서로 다른 방법을 적용한다. 이 연구에서 흙사면에는 한계투영법을, 암반사면에는 평사투영법을 적용하였으며, 각각의 해석결과를 한 사면씩 예로 기술하였다.

흙사면에 대한 안정성해석에 사용한 프로그램은 Purdue university에서 개발된 STABLE 5M을 이용하였으며, 해석기법은 Bishop's simplified method를 사용하였다. 사면해석의 예는 현대아파트 뒤편 사면으로서 건물로부터 7.5m정도 이격되어 있다. 집중호우에 의해 두차례의 붕괴이력을 지닌 곳으로 복구공사시 사면경사를 저 각도로 낮추고 잔디와 잡목 등으로 식생하였으며, 옹벽을 설치하는 등 보강공사가 완료되어 있는 상태이다. 사면을 3개의 단면도 즉, A-A', B-B', C-C'로 구분하였으며, 토층의 분포과약을 위해 간이식 핸드오거를 이용해 토심을 측정하였으며, 물성치 산정을 위해 각각 2개씩의 교란 및 불교란 흙시료를 채취하여 실내시험을 실시하였다. 이들 자료를 이용하여 해석한 결과 안전율은 1.08~1.70의 범위값을 보여 수치상으로는 비교적 안전한 것으로 해석되었으며, C-C'단면의 해석결과는 그림 6에서 보는 바와 같다.

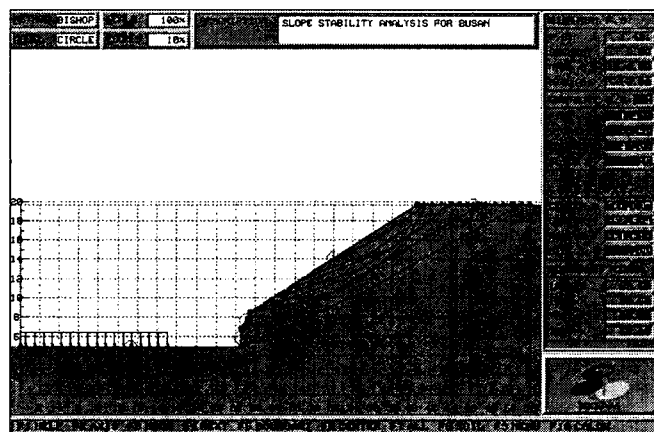


그림 6. 한계투영법에 의한 사면안정성 해석

- 암반사면

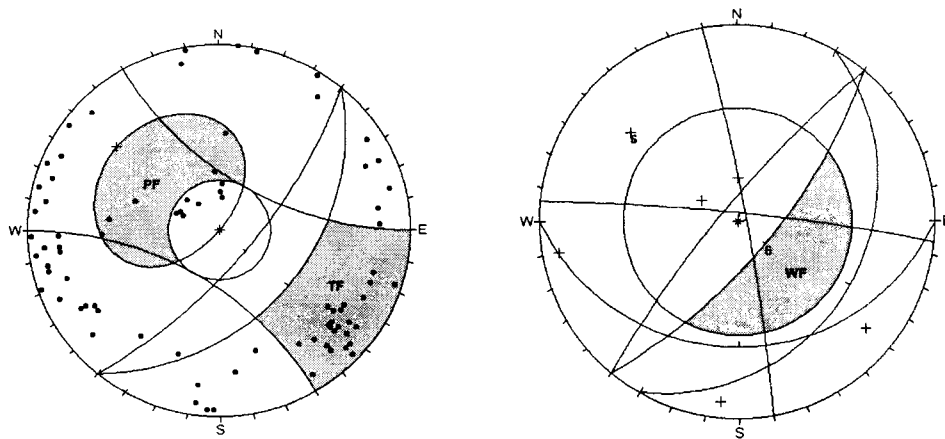
암반사면은 평사투영법으로 해석하였으며, 프로그램은 캐나다의 Rocscience사의 Dips Ver 5.0을 이용하였다. 이 방법은 단열구조의 방향에 대해 평사투영법을 이용하여 암반의

활동조건(rock sliding condition)을 분석하는 방법으로 비교적 간편하고 빠르게 안정성을 평가할수 있는데, 이 연구에서는 Hoek and Bray(1981)의 불연속면 특징을 기준으로 한 원호 파괴, 평면파괴, 썩기파괴 및 전도파괴로 구분하였다.

사면해석의 예는 절취 암반사면이 큰 규모로 형성되어 있는 경성대학교 공과대학 뒤편의 N20°E, N60°W 및 N80°W의 세 방향의 사면 중 N20°E 사면으로서, 모두 84개의 불연속면을 측정하였는데, 이 중에는 퇴적층리도 포함되어 있다. 측정된 불연속면 자료를 입체투영망에 투영하여 기하학적인 특징을 분석한 결과를 그림 7에 나타내었다.

(a)는 사면방향과 파괴영역을 도시하여 평면파괴와 전도파괴 가능성을 나타낸 것으로, 대부분의 절리가 파괴영역 밖에 점시되었고 일부는 영역내에 점시되었다. 일부의 평면파괴 영역의 절리들은 층리로서 평면파괴를 일으킬 수 있음을 보여주고 있는데, 이 층리들은 사면 방향에 가까워 파괴가능성을 감지할 수 있었다. 전도파괴 영역에도 한 그룹의 절리들이 점시되어 전도파괴에 대해서도 취약한 양상임을 알 수 있다. 그러나 절리들의 연장성은 짧고 불규칙하여 전도파괴 보다는 낙석의 우려가 더 클 것으로 예상되며, 실제 사면의 하부에 많은 량의 낙석이 관찰되었으며, 이를 방지하기 위해 낙석방지망(net)과 낙석방지책(fence)이 시공되어 있었다.

(b)는 썩기파괴에 대한 안정성을 검토하기 위하여 절리군에 대한 대표방향을 결정하여 이들을 대원으로 도시한 후 파괴영역을 보여준 것으로서, 모두 안정영역에 점시되어 썩기파괴에 대해서는 안정한 것으로 해석되었다.



평면파괴(PF)와 전도파괴(TF)

썩기파괴(WF)

그림 7. 평사투영법에 의한 사면안정성 해석

4. 결론

도시지역 사면관리시스템은 사면의 안정성과 관련이 있는 지질요소들에 대한 데이터베이

스를 구축하여 사면을 효과적으로 관리하기 위한 것이다. 연구지역은 부산 황령산지역으로 개개 사면에 대한 코드번호를 부여하고 코드번호에는 도엽명, 도엽번호, 사면구분 및 고유번호를 일목요연하게 표시할 수 있도록 하였다. 조사야장에 정밀한 사면정보를 기재하고 로지스틱 회귀분석모델, DIPS 및 STABLE을 이용하여 사면안정성을 평가하였는데, 자연 사면의 활동가능성은 최고 70% 정도이고 대부분이 낮은 지역으로 분류되었고, 절취사면은 안정적인 것으로 해석되었다. 지형도, 지질도, 위성영상, DEM, 경사도, 경사방향도 및 음영기복도를 활용하여 사면자료의 입력/편집/출력/관리/운영이 쉽고 편리하도록 사면관리시스템을 설계하였으며, 언제든지 수정, 보완 및 삭제가 가능하도록 하였다.

현재까지 개발된 도시지역 사면관리시스템은 프로토타입 수준이나, 앞으로 사면자료의 입력/관리/운영을 보다 체계적이고 실용화 되도록 수정·보완하고, GPS와 연결하여 정확한 사면의 위치좌표를 입력받을 수 있는 기능을 추가할 예정이며, 구축된 데이터베이스 및 사면정보를 이용하여 안정성분석 등에 직접적으로 활용할 수 있는 실용적인 시스템을 설계할 예정이다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원의 기관고유사업으로 수행되었다.

참고문헌

- 김경수, 김원영, 채병곤, 조용찬, 2000, 강우에 의한 산사태의 지질공학적 특성 -충청북도 보은지역-, 대한지질공학회, Vol. 10, No. 2, 163-174p.
- 김용필, 정경완, 송용선, 1997, 지반공학 시험법 및 응용, 세진사, 290-297p.
- 김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 이사로, 이봉주, 2000, 산사태 예측 및 방지 기술연구, 한국자원연구소, KR-00-(T)-09p.
- 김원영, 채병곤, 김경수, 조용찬, 김희곤, 2000, 산사태 발생의 확률론적 예측, 제 5회 방재 행정세미나, 행정자치부 국립방재연구소, 181-208p.
- Braja M. Das, 1983, Advanced Soil Mechanics, PP. 1-69p.
- Hoek, E., and Bray, J., 1981, Rock slope engineering, Inst. Min. Metall, London, Eng., 309p.
- Holtz, W. G. and Gibbs, H. J., 1956, Triaxial Shear Tests on Pervious Gravelly Soils, Journal, Soil Mechanics and Foundation. Div., ASCE, Vol. 82, No. SM 1, 867p.