



사면재해 평가의 3차원 스캐닝 기법적용

Risk Evaluation of a Road Slope on Hazard Using 3D Scanner

곽영주* · 장용구** · 강인준***

Kwak, Young Joo · Jang, Yong Gu · Kang, In Joon

要 旨

최근, 사면붕괴는 산악지역에 접해있는 국도변에서 자연재해로 발생하고 있다. 산악지역의 급속한 도로개설, 확장 등 경제개발로 인하여 사면붕괴와 관련된 사고로 직결된다. 따라서, 국도 안전관리와 국도 기능을 유지하기 위하여 사면점검의 지속적인 관리가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 점도사면의 유지관리에 따른 재래적 Face mapping과는 차별화된 GIS기법을 적용하였다. 3차원 스캐너를 이용하여 사면전문가 관점에서 사면 Face mapping을 통한 정확한 의형적 분석결과를 취득하였으며 그 결과를 외적 안정성 평가의 기준으로부터 붕괴발생 사면정보로 활용할 수 있는 자료로 변환하였다. 또한, 현재 운영 중인 도로절토사면관리(CSMS) 데이터베이스 뿐 만아니라 업무활용도를 높일 수 있도록 GIS 기반의 도로 위험 평가, 관리기법을 개선하였다.

핵심용어 : 3차원 스캐너, 지리정보 자료, 도로절토사면관리(CSMS)

Abstract

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 road safety as well as road function. In this study, we apply to the remedy which is comparing existent description to advanced technology using GIS. we utilize a 3D scanner, one of the advanced method, to generate precise and complete road slope model from expert point of view. In result, we are transferred practical data from external slope stability to hazard slope information. We suggest not only the database but also the method of road risk evaluation based on GIS.

Keywords : 3D scanner, GIS DB, CSMS(Cut Slope Management System)

1. 서 론

경제성장과 더불어 수많은 사회간접 시설이 요구됨에 따라 많은 양의 건설 부지가 필요하게 되었으나, 양질의 건설부지가 한정되어 있어 열악한 지반상태를 갖는 한계지의 활용이 증대되고 있다. 이에 따라 지형학적·지질 구조적 요인을 무시한 건설관행으로 최근 집중호우로 인하여 발생하는 절개지 사면의 붕괴(강릉 42, 35, 7번 국도변, 황령산 터널, 영월지역 봉래터널 등)시 대형 구조물의 손상 혹은 파괴 증가와 함께 앞으로의 피해에 상 가능성이 증대한 사안으로 부각되고 있다⁽⁷⁾.

사면붕괴는 산악지역에 접해있는 국도변에서 자연재해로 발생하고 있다. 산악지역의 급속한 도로개설, 확장 등 경제개발로 인하여 사면붕괴와 관련된 사고로 직결된다.

따라서, 국도 안전관리와 국도 기능을 유지하기 위하여 사면점검의 지속적인 관리가 수행되어야 한다.

우리나라는 집중호우에 의한 사면파괴가 대부분 발생하므로 지반공학자에게 있어 강우에 의한 사면의 안정성을 적절하게 평가하는 것은 매우 중요한 문제이다. 이를 위하여 도로 절도 사면 취약성, 가능성, 위험성 평가 기법 등을 연구, 이를 해결하기 위하여 각종 데이터베이스 현황을 조사, 수집하고 있다. 결과물에 대한 DB 및 평가를 사면전문가와 비전문가, GIS 전문가와 비전문가도 접근할 수 있도록 활용성을 극대화 할 수 있도록 다양한 관점에서 접근 할 필요성이 있다⁽²⁾.

본 연구에서는 점도사면의 유지관리에 따른 재해예방 점검 차원에서의 재래적 Face mapping과는 차별화된 GIS기법을 적용하였다. 사면전문가의 Face mapping을

2005년 5월 9일 접수, 2005년 6월 9일 채택

* 주저자, 학생회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정 공학석사 (maestro99@pusan.ac.kr)
** 정회원, 한국건설기술연구원 GIS/LBS연구센터 선임연구원 공학박사 (wkddydrn@kict.re.kr)
*** 정회원, 부산대학교 토목공학과 교수 공학박사 (ijkang@pusan.ac.kr)

3차원 스캐너를 이용하여 외형적 분석결과를 취득하는 방안과 그 결과를 외적 안정성 평가의 기준으로 붕괴발생 사면정보로 활용할 수 있도록 하였다. 그리고, 현재 운영 중인 GIS 기반의 도로절토사면 관리 데이터베이스 뿐 만아니라 업무활용도를 높일 수 있도록 평가, 관리기법을 개선하였다.

2. 위험사면 관리

2.1 암반사면 붕괴형태

장기간 자연적인 안정화과정을 거친 자연사면이나 구성재료의 품질관리가 가능한 성토사면에 비해 절토사면은 자연적으로 형성된 지반에 인위적인 변형을 가해서 조성된 지반구조물이기 때문에 구성재료 특성에 따른 풍화, 세굴 등의 열화 현상에 의해 일관된 안정성을 확보하기가 어려우므로 지속적인 유지관리가 필수적이다. 절토사면은 굴착에 따라 형성된 사면이 침식되기 쉬운 토사로 구성된 경우 지표수나 지하수의 작용에 영향을 받는 사면이 국부적으로 붕괴하는 얇은 표면붕괴와 암석으로 구성된 경우 암반내 불연속면의 구조적 특성에 따라 붕괴하는 등 그 양상이 다양하다. Varnes에 의해 제시된 암반사면 붕괴형태를 분류하면 아래와 같다.

(1) 원호파괴(Circular Failure)

토층사면 및 불연속면이 불규칙하고 매우 조밀하게 발달되어 뚜렷한 구조적 특징이 없는 암반사면에서 원호형태의 파괴가 발생하는데 주로 풍화가 심한 암반이나 파쇄가 심한 암반에서 발생한다.

(2) 평면파괴(Plane Failure)

불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생 가능하다. 활동암괴가 특정 절리면을 따라서 붕괴하려면 몇 가지 조건을 만족시켜야 한다. 즉 절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷해야 하고, 절리면이 절개면상(daylight)에 노출되어야 하며 절리면의 경사각(θ)이 절개면의 경사각(β)보다 작아야 한다. 또 절리면의 경사각이 절리면의 마찰각(ϕ)보다 커야 하며 암괴의 양쪽측면이 절단되어서 미끄러짐에 대한 측면의 영향이 없어야 한다. 이때 일반적으로 10~20° 정도의 값 이내로 형성이 되는 것으로 보고되고 있다.

(3) 썸기파괴(Wedge Failure)

썸기파괴는 두 개의 불연속면을 따라서 발생하는 암반 블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태로서 기본적인 역학관계는 평면파괴와 유사하다. 썸기파괴의 발생조건으로

는 두 절리의 교선과 절개면의 경사방향이 유사해야 하며 절개면의 경사각이 절리 교선의 경사각보다 크고 이들은 절리 마찰각보다 커야한다.

(4) 전도파괴(Topping Failure)

수직절리가 발달한 암반에서 발생되며, 이 때 수직절리면의 경사방향이 반대이어야 한다. 전도파괴의 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이어야 한다.

2.2 재해를 대비한 조사점검

재해를 대비한 예방 조사는 사면의 지형과 지질 상태, 현존하는 대책공의 효과, 재해 이력 등을 전문가들이 체크하는 상세 조사이다. 절토사면의 안정성이나 붕괴여부, 붕괴시기, 붕괴규모, 피해정도 등을 예측하기란 매우 어렵기 때문에 상기의 불확정요소를 보완하고, 절토사면붕괴를 미연에 방지하여 피해를 최소화하기 위해 정기적인 안전점검을 실시해야 한다⁶⁾. 폭우, 태풍, 지진 등의 긴급상황 또는 시설물의 이상발생시 경험과 기술을 갖춘 자가 시설물의 손상이나 결함을 조기에 발견하고 시설물의 기능적 상태를 판단하며 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하며 GIS를 이용한 예측방법으로 점검의 효율성을 향상시키는 것이 필요하다.

2.3 정밀 3차원 스캐너를 이용한 암반불연속면 조사

정밀 3차원 스캐너 System의 데이터 측정방식은 레이저를 발사하여 반사되어 오는 시간적인 차이로 거리를 환산한다.

$$Distance = C \times (T1 - T0) / 2$$



그림 1. 3차원 스캐너

내부 2개의 반사경으로부터 정확한 벡터값을 산출하여 컴퓨터의 3차원 공간상에 물체의 초기 x, y, z 점좌표를 생성시키며 이러한 3차원 점좌표 형태들은 실제의 공간상에 존재하는 위치정보들을 그대로 컴퓨터 공간상에 옮겨 놓은 것으로 서로간의 관계되는 실제의 수치적인 값들이 그대로 내재되고 있다⁴⁾.

3차원 스캐너의 장비구성은 레이저가 발진되는 스캐너 헤드부분과 AC 전원 또는 충전지로 이루어지는 전원공급장치, 그리고 모든 작업과정을 제어하게 되는 소프트웨어가 내장된 일반 PC 노트북으로 이루어진다. 관측거리가 1.5~200m 이며, 측량결과치의 밀도는 0.25mm@50M 이다. 점좌표로 획득되는 실제 수치적인 값은 초당 800~2,000 point/sec이며 정밀도는 Point <Max ±6mm@50M, Modeling<Max ±2mm@50M를 가진다.

3. 위험사면 평가

3.1 연구 모델

건설교통부 부산지방국도관리청 산하 진영국도유지관리소 관할 접도사면의 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 존재하고, 이에 따른 자연재해로 인한 붕괴가 빈번하게 발생하는 국도 24호선을 연구모델로 정하였다. 24호선 중 사면붕괴가 밀집되어 있는 밀양시 산내면과 울주군 상북면의 절토사면 모델을 제시하였다.

1/5,000 축척의 수치지형도를 사용하여 등고선으로부터 DEM을 추출한 후 3차원 모델을 구축하였다. 사면붕괴가 집중적으로 발생하는 지역을 집중분포지역으로 중점 붕괴

모델로 선정하였다. 대부분 화강암 풍화토 및 심성/반심성 암으로 분포, 구성되어 있으며 사면 표층으로부터 층리 및 엽리의 발달로 잘게 부서지는 특성을 가지고 있었다²⁾.

3.2 사면 Face Mpping 및 암반불연속면 조사

일반적으로 암반의 불연속면은 클리노콤파스를 이용하여 직접 측정된 결과를 종합하여 분석하게 된다. 그러나 사면고도가 높아 인력이 접근이 곤란한 지역에서는 측정이 불가하며, 측정자에 따라 그 오차도 상당히 커져 안정성을 명확하게 평가하기가 어렵다. 3차원 스캐너는 최대 200m 거리가 이격된 지점에서도 측정이 가능하므로 접근이 곤란한 지역의 암반불연속면 조사에 활용도가 높다^{5,6)}.

도로건설 사업의 환경영향 평가시 지형지질 항목의 필수부분이라 할 수 있는 표고분석 및 경사분석 항목을 작성할 때 보다 더 정확한 3차원 좌표획득 방식으로 수치화 할 수 있으며 외형적 Face mapping 이루어진 상황에서 사면 전문가의 판단이 추가되어져 보다 더 신뢰성 있는 자료로 활용될 뿐 만 아니라 데이터베이스 구축 시 보존 자료로 남게 된다.

그림 3과 같이 측정된 정보는 x, y, z 좌표가 포함된 점들의 집합(Point Cloud) 형태로 측정되며, 운영S/W(Cyclone)상에서 임의의 방향으로 회전이 가능하여 단면도를 표현할 수 있다.

아울러 측정된 불연속면의 배열형태에 대해서도 그림 4에서 처럼 암반 불연속면을 해석한 결과 사면내부의 방향

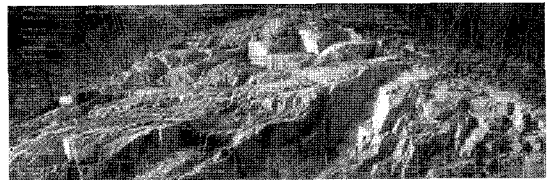


그림 3. 사면 Face Mapping 좌표값



그림 2. 국도 24호선 5km 구간 내 절토사면

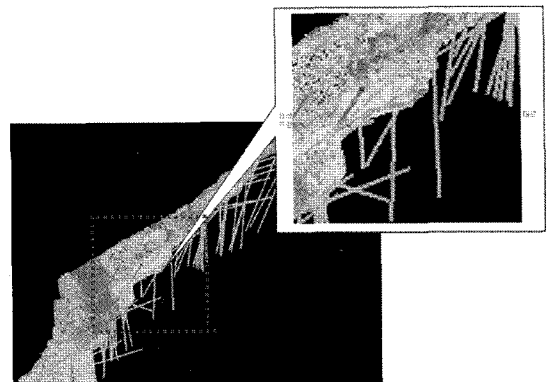


그림 4. 단면내포 불연속면 모식도

성을 추정하여 표현할 수 있으므로 GIS 예측 데이터로서 활용 가능하다. 점들의 집합으로 구성된 좌표데이터는 대용량이므로 Microstation 프로그램을 사용하여 구현함으로써 범용성을 가지는 3차원 데이터로도 구현가능 하였다.

연구대상 사면에 대한 스캐닝 결과에서 설정할 수 있는 면에 대해 방향성을 파악할 수 있다. 면의 방향성은 일반적으로 경사(dip)와 경사방향(dip direction)으로 표현하며, 상당수 면의 방향성을 종합하면 대상사면의 불연속면 발달정도를 파악할 수 있다. 제1구간의 경우 클리노콤파스를 이용하여 25군데 절리데이터를 측정하였으며 3차원 스캐너를 활용한 48군데의 대표적인 절리만을 선별하여 절리분포 및 주절리군의 방향성을 비교하여 정확한 빈도로 표현하였다. 불연속면 측정결과는 전문가가 클리노콤파스를 이용하여 직접 측정한 결과와 3차원 스캐너를 대표 분석하여 비교한 표 1로서 신뢰성과 효율성을 검증하였다. 제2구간과 제 3구간에서도 역시 대표절리를 선별하여 경사와 경사방향을 결정하였다.

3.3 사면 정밀위치결정

단독측위GPS의 오차를 없애는 방법으로서, 두개 이상의 GPS수신기를 같은 시간대에 사용하여 단독측위의 오차를 소거하는 차동측위(differential) 방식이 있다. 위치가 이미 알려진 기준국과 위치를 알고자 하는 이동국으로 구성된다. 기준국과 이동국의 사이에서는 시간의 오차, 궤도의 오차 등은 완전하게 그리고 전리층, 대류권 등에서의 굴절 등에 의한 오차는 거의 같게 영향을 준다고 한다면 기준국 쪽에서의 변동은 오차로 간주, 이 값을 이동국의 정보로부터 제거하면 정확한 위치를 결정할 수 있다. 디퍼렌셜 측위에 의해서도 수신기의 오차나 난반사에 의한 오차는 보정되지 않는다.

본 연구에서는 정밀 GPS 측량으로 진영사무소 내 기준점을 설치한 후, 기준점 위치에 base data 파일을 획득

할 수 있는 수신기를 설정하여 표 2와 같은 파일로 입력을 받는다. 현장 연구사면 기준점 2곳을 설정한 후 GPS 수신기와 PAD를 이용하여 현장 이동관측을 수행하여 표 3 데이터를 획득한다. 오차가 보정되어 획득하고자 하는 최종 파일을 활용하는 현장 측량을 수행하였다.

표 2~3 raw data 파일에서 같은 시간, 4개 이상의 위성을 공유하는 데이터에 대하여 기준점에서의 오차만큼 이동국의 오차를 보정해 준다. 이렇게 설치된 기준국은 진영사무소 관할구역 내 다른 사면의 조사에서도 이와 같은 정밀위치결정 방식을 적용할 수 있으므로 시간과 비용이 절감되는 효과가 있으며 정밀 측량은 1회만으로도 충분하다.

3.4 위험사면 안정성평가

일반적으로 사면 하나를 대상으로 안정성 평가를 수행하는 기존 방법과 차별화하여 향후 GIS 데이터로 활용할 수

표 2. 현장 기준국 GPS raw data

NMEA DATA	
:	
SGPGSA,A,3,03,,11,13,15,16,19,21,23,25,27,,1.4,0.8,1.1*35	
\$GPGSV,3,1,11,03,78,005,52,08,00,319,00,11,05,196,43,13,28,265,49*7E	
\$GPGSV,3,2,11,15,38,079,54,16,41,073,55,19,64,242,53,21,10,040,42*76	
\$GPGSV,3,3,11,23,24,231,50,25,09,147,39,27,19,316,45,...	
\$GPGSV,3,3,11,23,24,231,50,25,09,147,39,27,19,316,47,...	
:	

표 3. 현장 이동국 GPS raw data

NMEA DATA	
:	
SGPGGA,000016.998,0000.0000,N,000000.0000,E,0,00,50.0,0.0,M,00*34	
\$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,50.0,50.0,50.0*05	
\$GPGSV,1,1,01,29,00,000,*43	
\$GPRMC,000016.998,V,0000.0000,N,000000.0000,E,,270102,,*1D	
\$GPGSV,1,1,01,29,00,000,*44	
:	

표 1. 사면 제 1구간 경사와 경사방향(dir/dip)

No.	dir / dip	No.	dir / dip	No.	dir/dip	No.	dir / dip
1	215 / 84	9	176 / 81	...	...	33	183 / 82
2	127 / 82	10	191 / 79	...	...	34	187 / 89
3	182 / 80	11	182 / 81	...	...	35	168 / 78
4	224 / 88	12	183 / 78	...	...	36	173 / 79
5	207 / 82	13	189 / 76	...	...	37	113 / 74
6	190 / 81	14	125 / 83	...	...	38	112 / 85
7	187 / 80	15	123 / 84	...	...	39	144 / 34
8	182 / 80	16	124 / 79	...	...	40	196 / 28

표 4. 모델사면 TM성과값

No.	좌표	x	y
CP1		200083.19	232737.41
1		200079.70	232735.58
2		200074.84	232733.02
3		200066.97	232730.39
4		200059.16	232727.77
5		200050.07	232724.72
6		200041.95	232722.01
7		200034.13	232719.39
CP2		200029.21	232717.74

있도록 사면을 면분할하여 그림 5와 같이 대상연구모델 전체를 3분할 하여 안정성 평가를 하였다. 각 구간별 가장 위험한 요소가 많이 분포되어 있는 대표절리를 해석함으로써 전문가 판단에 의한 평사투영해석 결과를 도출하였다.

제1구간 내에서는 국부적인 평면파괴의 가능성이 있으며(표 5) 제 2구간 내에서는 국부적인 평면파괴 및 썩기 파괴의 가능성이 있고 제 3구간에서는 평면파괴 및 썩기 파괴의 가능성이 있는 객관화된 수치자료로 신뢰성있게 표현하였다.

3.5 GIS DB 3차원 활용

기존 국내기관에서 사면 위험도를 관리하는 시스템들은 대부분 웹기반의 매핑시스템으로 되어있다. 그림 6과 같은 현 운영 중인 시스템들은 대부분 지도상에 사면위치가 표현되어 있고, 사면위치점을 클릭하면 관련정보를 보여주는 단순한 링크(link)형식으로 되어 있다. 그러나, 사면의 지리·속성정보는 많은 의미를 포함하게 된다. 도로절토사면유지관리시스템의 DB로 변환하여 활용 가

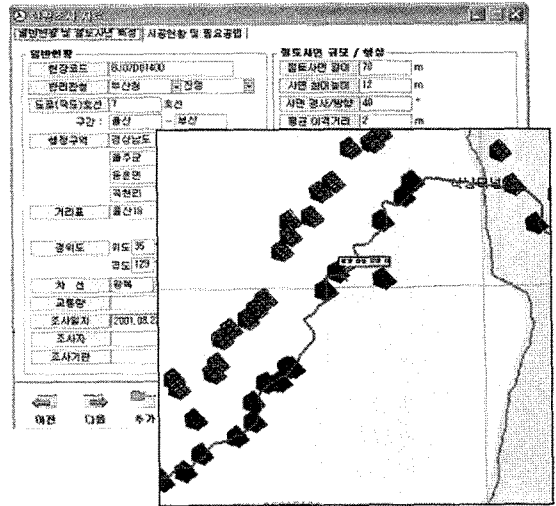


그림 6. 현 운영 도로관리시스템

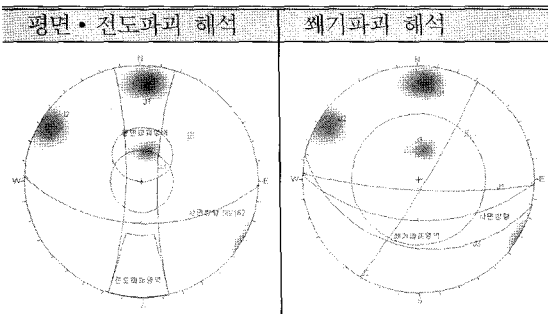
능한 개선안으로 그림 7의 절토사면 면분할 방식을 도입하였다. 하나의 사면을 안정, 불안정으로 판단하는 것이 아닌 암반사면 내에 존재하는 각 부분의 절리방향과 특징을 고려한 분할방식으로 위험구간을 현장에서 판단하고 구간별 경계를 GIS data화하여 *.shp, *.dbf 파일형식으로 시스템에 로딩(Loading)하게 된다.



그림 5. 사면 제 1구간 주향과 경사

표 5. 평사투영해석 제 1구간 결과

비탈면 높이 (m)	암반 높이 (m)	비탈면 경사 방향	불연속면 방향성 (dip/dipdirection)			θ (°)
			J1	J2	J3	
20.0	20.0	50/182	79/183	83/121	29/192	30



3.6 비교 고찰

기존 사면의 형상, 위험도등급과 관련된 정보 등 그 자체의 정보와 더불어 지리정보와 속성정보의 공간분석을 통한 다른 유용한 정보추출이나 위험사면 예측가능 구간 또는 3차원 사면정보를 통한 관독자의 시각적 효과를 극대화시킬 수 있는 등 많은 활용가치가 있다고 할 수 있다. 따라서, 기존의 매핑시스템으로 관리되고 있는 건설교통부 주관의

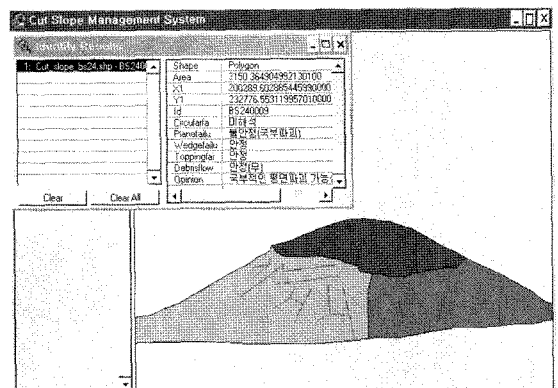


그림 7. 면분할 사면 DataBase

도로관리통합정보시스템(HMS : highway management system)의 한 분야로 도로절토사면유지관리시스템(Cut Slope Management System)과 한국도로공사 주관의 사면관리 시스템 등이 개발되고 있다. 이들의 한계성을 극복하기 위해서는 3차원 GIS 공간분석 기반의 사면관리시스템 개발이 필요하다. 면분할 방식에 따른 사면 위험평가 공간정보 구축활용을 위한 인터넷기반의 GIS시스템 접근으로 현장결과를 정확히 활용하여 재해점검시의 판단을 공유하고 중앙관계 시스템의 사면전문가의 의견을 상호 교환함으로써 정확한 위치에 따른 사면관리가 가능하게 된다. 향후 발생하게 되는 대책공법 결정과 상위부서의 의사결정에 직접관여 할 수 있는 GIS 기능을 더욱 부각하는 인터넷기반의 기술이 절실히 요구된다.

4. 결 론

본 연구에서는 사면관리의 중요한 재해점검 단계 상황으로 잠재 위험요소가 가장 높은 유형을 고려하여 사면 위험 평가에 반영하도록 하였다. 따라서, 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 정밀 3차원 스캐너 System을 활용하여 접근이 불가능한 암반의 불연속면을 조사하고, 이를 토대로 예비해석인 평사투영법을 적용하여 사면의 안정성을 평가하였다. 기존의 인력에 의한 조사보다 대규모의 절리데이터를 확보할 수 있으며, 측정자의 오차를 삭제할 수 있는 신뢰성있는 조사방법이었다.
2. 측정된 모든 점이 3차원 디지털 좌표로 표현되므로, 데이터의 가공이 용이하며 적용성이 다양하였다. 또한 사면 측정 시 기준점을 확보하여 상대좌표를 절대좌표로 전환하여GIS 관점에서의 사면 유지관리 데이터로 활용할 수 있도록 하였다.

3. 현재 운영 중인 도로사면 관리 시스템을 부분 개선하는 방안으로 사면위치 정확도의 향상과 위험사면 평가를 위한 Face Mapping 작성 시 요구되는 항목을 추가하였다. 운영관리 관점에서 사면형상을 정확히 판단할 수 있도록 면분할 기능에 포함함으로써 붕괴현상을 예측, 상호 의사결정방안으로 연구가 이어져 위험사면 분석 및 관리시스템의 GIS 예측기법의 중요한 자료로의 활용성을 제시하였다.

참고문헌

1. 강인준 (2000~2003), "원격탐사와 지형공간 정보를 이용한 재해 예측", *한국과학재단*.
2. 곽영주, 조형진, 정재형, 강인준(2004), "GIS를 이용한 위험사면 분석고찰", *한국지형공간정보학회*, 학술발표논문집, pp. 11~18.
3. 송석진, 강인준(2005), "PDA를 이용한 현장 DGPS의 정확도에 관한연구", *한국측량학회*, 학술발표회 논문집, pp. 73~78.
4. 이상학(2002), "레이저 스캐너의 정확도 검증과 3차원 수치 모형 생성", *석사학위논문*, 충북대학교.
5. 정태영, 이승호, 심석래, 황영철(2004), "3D Laser scanner 를 이용한 암반사면 절리 측정에 관한 연구", *대한토목학회 학술대회논문집*, pp. 1363~1368.
6. 홍성균, 김영술, 이희관(2003), "레이저 스캐너를 이용한 측정 및 레지스트레이션 오차감소에 관한 연구", *한국정밀공학회지*, 제 20권, 9호, pp. 197~204.
7. 한국건설기술연구원, 한국시설안전기술공단(2004), "2003년도 도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용", *연구보고서*, 건설교통부.
8. 地盤工學會, (2003), 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, 日本地盤工學會.
9. 이정인, E. Hoek & J. W. Bray(1995), "Rock slope Engineering, 암반사면공학", *엔지니어즈*, pp. 190~324.
10. 기술경영사 편집부 (2001), "암반사면의 안정 해석과 설계", *기술경영사*, pp. 93-123.