

Logistic 회귀모형과 GIS기법을 활용한 접도사면 붕괴확률위험도 제작 Hazard Map of Road Slope Using a Logistic Regression Model and GIS

강호윤¹⁾ · 광영주²⁾ · 강인준³⁾ · 장용구⁴⁾

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

¹⁾ 독립저장전문대학 토목과 겸임교수 (E-mail : happy76@pusan.ac.kr)

²⁾ 부산대학교 대학원 토목공학과 박사수료 (E-mail : maestro99@pusan.ac.kr)

³⁾ 부산대학교 토목공학과 교수 (E-mail : ijkang@pusan.ac.kr)

⁴⁾ 한국건설기술연구원 GIS/LBS연구센터 선임연구원 공학박사 (E-mail : wkddydrn@kict.re.kr)

Abstract

Slope failures are happen to natural disastrous when they occur in mountainous areas adjoining highways in Korea. The accidents associated with slope failures have increased due to rapid urbanization of mountainous areas. Therefore, Regular maintenance is essential for all slope and conducted to maintain road safety as well as road function.

In this study, we take priority of making a database of risk factor of the failure of a slope before assesment and analysis. The purpose of this paper is to recommend a standard of Slope Management Information Sheet(SMIS) like as Hazard Map. The next research, we suggest to pre-estimated model of a road slope using Logistic Regression Model.

Keyword : Risk factor, Slope Hazard Map, GIS, Logistic Regression

1. 서 론

뚜렷한 동고서저의 지형으로 국토면적의 약 70%가 산악지형으로 이루어져 있으며 다양한 지질학적 특성을 나타내고 있다. 산업의 고도화와 인구증가로 효율적인 국토 개발이 요구되면서 산지를 절취한 도로개설 및 주택지 조성 개발 공사로 대규모 절토사면이 증대되고 있는 실정이다. 최근 10년간의 자연 재해의 현황을 보면 전체 사망자 1,279명 중 산사태 등 급경사지의 붕괴로 약 22%에 달하는 280명 사망하였으며 그 수가 증가하고 있는 추세이다. (건설교통부, 2005).

선진국의 경우를 보면 홍콩의 경우 정부차원에서 LPM(Landslip Preventive Measures) 프로그램을 운영하고 있는데 이는 약 6만 여개의 사면정보를 데이터베이스화하여 GIS기법을 활용하여 분석관리하고 있으며 특히 항공사진과 위성영상등을 활용하여 3차원으로 된 사면정보를 GIS시스템을 활용하여 관리하고 있었다. 일본의 경우 방재과학기술연구소(NIED)에서 산사태, 홍수, 지진, 호우, 강풍 등에 의한 자연재해의 원인 규명 및 피해를 최소화하기 위한 연구를 실시하고 있으며(土木研究所, 2004) 특히, 산사태 분야는 호우에 의한 산사태 지형분포도 작성 및 간행, 토사재해 위험성 평가와 피해영역 예측연구를 집중적으로 수행하고 있다.

우리나라 경우도 산지를 절취한 도로개설이 대부분이며 이로 인한 절취사면은 계속적으로 증가할 것이라고 예상되어진다. 또한 기후특성상 강우량이 여름에만 집중되고 있어 사면붕괴로 인한 재해가 매년 발생하고 있는 실정이나 이에 따른 사면에 대한 위험도 등급 마련으로 인한 관리는 이루어지지 않고 있는 실정으로 도로 접도구역과 관련하여 붕괴 발생을 미연에 방지하고 도로 피해를 최소화하는 기술을 개발할 필요성이 증대되고 있다.(건설교통부, 2005) 사면위험성 평가법의 경우 국내외 여러기관에서 제

안된 방법으로 사면높이, 사면경사각, 상재하중, 토질조건, 암반조건, 강우량, 강우강도 등을 선정한다(홍원표 외 2인, 2004)

따라서 본 연구에서는 사면에 정확한 위치와 경사, 그리고 높이, 향, 등의 사면의 물리적인 특성을 파악하기 위해 정밀기준점 GPS 측량과 Total Station 이용한 노선측량을 실시하여 X, Y, H 3차원좌표 데이터를 획득함으로써 지리정보(GIS)기반을 구축하였다. 또한, 기존의 붕괴된 사면의 요인별 사례를 수집하여 통계분석인 Logistic 회귀분석을 실시하여 최종적으로 사면붕괴 확률방정식을 도출함으로써 사면붕괴에 위험등급을 제시하였고 최종적으로 GIS를 활용하여 사면재해위험지도 제작하였다.

2. 사면붕괴의 확률론적 접근

2.1 사면조사자료

재해예방을 위한 조사에는 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 한다(地盤工學會, 2003). 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 확인하여야 한다.

표 1에서의 예시와 같이 전국에 분포된 절토사면에 대해 각각의 항목별 내용을 조사를 하여 표 2와 같은 형식으로 각각의 항목에 대해 조사된 내용을 기록하여 해석 입력자료로 활용되어진다. 따라서 표2를 기초자료로 활용하여 통계를 이용한 붕괴발생 빈도를 예측하여 점검의 효율성을 향상시켜 보았다.

표 1. 절토사면 현장조사 항목 및 내용

항 목	내 용
현황	도로위치:노선, 방향, 차선수, 도로폭, 이격거리
지형	주변지형 특성 : 연장, 높이, 경사/경사방향, 종·횡단형상, 상부자연사면 특성
지질	암종, 풍화정도, 암색 및 풍화암색 토질 및 지반조건, 토층 심도
불연속면 특성	불연속면:방향, 연장, 간격, 틈, 충전물, 거칠기
수리조건	절토사면의 누수 상태, 집수 지형 존재 여부
붕괴이력	붕괴 유형, 붕괴 위치, 붕괴 규모 : 폭, 길이, 깊이, 높이
시공현황	시공된 공법의 종류, 시공 위치, 상태 : 노후, 파손여부

표 2. 입력자료

산면 높이 (m)	사면 경사	사면 방향	지하수	계곡부 유/무	상부사면 경사	암종	암석명	토질 (흙사면만)	풍화도	붕괴 이력	불연속면 종류
22	62	330	건조	무	38	심성/ 반심성암	호상 편마암	점토	신선(F~SW)	유	층리
20	78	258	젖음(하)	무	40	화산암	편마암	점성토	약간풍화(SW~MW)	낙석	층리
25	52	280	젖음 (중,상)	무	28	쇄설성 퇴적암	편마암	사질토	보통풍화(MW~HW)	무	엽리
20	46	288	흐름(하)	무	5	비쇄설성 퇴적암	화강암	화강암 풍화토	심한풍화(HW~CW)		암맥
27	62	180	흐름 (중,상)	유	36	엽리상 변성암	호상 편마암	붕적토	완전풍화(CW~RS)		단층
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

(한국건설기술연구원 자료 2005)

2.2 회귀분석

회귀분석은 반응변수와 설명변수간의 관계를 나타내고자 할 때 가장 널리 사용되는 보편적인 통계적

방법 중 하나이다. 반응변수가 두 개 또는 그 이상의 몇 개 범주에 대한 반응값을 나타내는 범주형일 때에는 로지스틱회귀모형이 적용된다. 로지스틱회귀는 지난 10여년간 여러 분야에서 표준적인 통계적 방법 중 하나가 되었다. 로지스틱회귀는 통상 반응변수의 값이 이원(binary)일 때 설명변수가 반응변수에 미치는 효과를 분석하기 위해 사용되며 분석 목적이나 일반적인 절차는 보통회귀와 유사하다. 좀더 일반적으로 반응변수가 두 개보다 많은 여러 개 범주를 갖는 다범주 반응 자료에 대해서도 확장할 수 있다. 일반화선형모형은 보통회귀모형이나 분산분석모형뿐만 아니라 범주형 반응변수에 대한 로지스틱회귀모형을 모두 포함하는 매우 일반적인 모형을 일컫는다(정광모, 2002).

3. 접도사면 재해위험도 제작

3.1 연구지역

연구 대상지역은 산악지역의 굽은 고개도로로서 진영 국토관리사무소에서 관리하고 있는 밀양~창녕간 국도 24호선 중 북북면에 위치한 1.8km 구간의 낙석위험지역을 선정하였다. 우선, 사면의 정확한 위치와 물리적인 경계를 확정하기 위하여 국토지리정보원에서 발행하는 밀양시 1:5,000 수치지도를 활용하여 측량 기준점을 선정하였다. 또한 접도사면의 정확한 시·중점과 사면의 경계를 설정하기 위하여 절대 좌표의 X, Y, H 좌표를 필수조건으로 하였다. 이를 위해 Sokkia GSR2600 GPS 측량을 시행하여 밀양시 중심지역의 2등 기준점과 3등 기준점 성과를 골격으로 삼각측량을 실시하였으며 연구지역인 국도 24호선 밀양~창녕간 21.4km ~ 23.2km(우측)구간의 사면 11개소를 대상으로 노선측량을 완료하였다. 노선측량을 위한 기준점 좌표를 매설하고 Total-Station을 이용하여 대상 모델 11개소의 정확한 사면경계 및 시설물을 3차원으로 관측하였으며 표 2.에서 요구하는 해석 입력자료의 데이터를 현장과 비교하며 지리정보(GIS)자료에서도 수집 할 수 있었다.

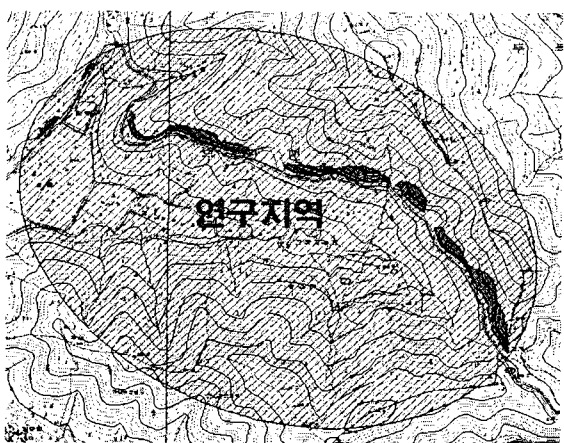


그림 1 연구모델지역 수치지도

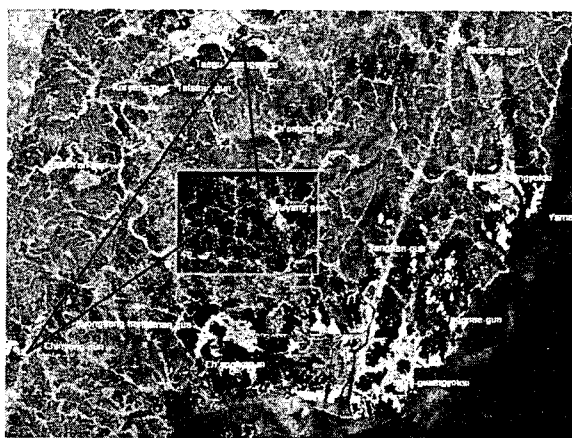


그림 2 연구모델 지역

3.2 자료값의 Logistic회귀분석

사면붕괴에 영향을 미치는 입력변수의 영향을 모형화하기 위해 이분형 로지스틱회귀분석을 실시하였으며 총 10개의 입력변수가 사용되었다. 분석에 사용된 기초자료는 표 2의 예시와 같이 사면파괴가 발생된 장소를 기준으로 총 422 개소의 샘플링으로 조사된 변수를 이용하여 적합된 최적의 회귀분석을 시행하였다. 회귀분석의 결과는 표 3과 같으며 이 결과는 모든 가능한 회귀의 결과를 바탕으로, 전문가의 조언 그리고 전진선택법과 후진제거법, 단계적 선택법을 통한 변수선택 순서 등을 고려하여 최종적으로 선택된 최적모형이다. 이 모형에서 사면안정성 평가자료의 기하학적, 지반공학적 항목 중 총 7개의 입력변수가 선택, 포함되었다.

위의 결과로부터 적합된 로지스틱 회귀모형은 식 (1)과 같이 표현된다. 사면붕괴가 일어날 확률의 추정치를 p 라고 하면,

$$\text{logit}(p) = 3.9291 + 0.0166 \cdot \text{사면길이} - 0.0551 \cdot \text{사면경사} - 0.00005 \cdot \text{사면방향} + 0.2452 \cdot \text{지하수} + 0.0149 \cdot \text{상부사면 경사} - 0.0985 \cdot \text{풍화도} + 0.0445 \cdot \text{불연속면종류} \quad (1)$$

회귀모형으로부터 산정되어진 붕괴모델의 수식을 연구지역의 실제 11개 사면에 적용하여 검토해 보았다. 현장조사에서 취득할 수 있는 입력값을 사면대장의 지리정보(GIS)기반의 데이터를 활용함으로써 정확한 절대좌표를 기준으로 사면안정성 평가자료 항목을 정확하게 추출할 수 있었다. 표 4는 연구모델지역에서 조사된 회귀분석 입력값이다.

표 3. 이분형 로지스틱 회귀분석 결과

Parameter	DF	Estimate	S.E.	Wald Chi-Square	Pr>Chi-Square
Intercept	1	3.9291	2.1197	3.4361	0.0638
사면길이	1	0.0166	0.00543	9.3741	0.0022
사면경사	1	-0.0551	0.0243	5.1535	0.0232
사면방향	1	-0.00005	0.00242	0.0004	0.9841
지하수	1	0.2452	0.2296	1.1411	0.2854
상부사면 경사	1	0.0149	0.0131	1.2911	0.2558
풍화도	1	-0.0985	0.2683	0.1348	0.7135
불연속면 종류	1	0.0445	0.1484	0.0901	0.7641

그 결과 표 4에서와 같이 분석입력 자료를 붕괴모델 함수에 적용함으로써 확률방정식으로 전환하였다. 위 (1)식은 다시 아래 (2)식 확률방정식으로 표현 될 수 있다.

$$p = 1/[1 + \exp\{-\text{logit}(p)\}] \quad (2)$$

그 결과 모델사면 통계 붕괴 확률방정식을 산출할 수 있었으며 이를 이용해 붕괴우선순위를 정할 수가 있었다. 이를 정리하면 표 5와 같다.

표 4. 연구모델에 지역에서 조사된 회귀분석 입력값

Parameter	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
Intercept	3.9291	3.9291	3.9291	3.9291	3.9291	3.9291	3.9291	3.9291	3.9291	3.9291	3.9291
사면길이	80.2	59.7	148	128.7	87	133.4	152.3	105.3	120	113.3	140
사면경사	41	58	47	44	41	42	42	58	53	63	68
사면방향	120	120	220	190	190	180	180	200	220	220	220
지하수	건조	건조	젖음(하)	흐름(하)	건조	젖음(중)	건조	젖음(하)	젖음(중)	흐름(중)	흐름(하)
상부사면 경사	54	34	28	41	30	32	23	53	42	62	42
풍화도	신선	신선	약간풍화	약간풍화	보통풍화	보통풍화	약간풍화	보통풍화	보통풍화	심한풍화	심한풍화
불연속면 종류	층리	층리	단층	층리	엽리	토사	층리	단층	파쇄대	파쇄대	파쇄대

표 5. 붕괴확률과 붕괴 우선순위

PSMIS	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
붕괴확률	0.9819	0.9903	0.9908	0.9938	0.9732	0.9927	0.9897	0.9743	0.9863	0.9867	0.9807
붕괴순위	8	4	3	1	11	2	5	10	7	6	9
비 고	암반	암반	암반	암반	혼합	토사	암반	암반	암반	암반	혼합

3.3 GIS를 이용한 사면붕괴확률위험도 제작

Logistic회귀분석의 결과를 이용해 GIS기법을 활용하여 사면재해 위험도를 제작하였다. 우선 기초자료

로 수집된 측량자료를 활용해 GIS로 활용할 수 있는 기본데이터로 만들었다. 그림 3은 GIS툴인 ArcGIS를 이용하여 수치지도와 연구대상지역의 사면과 도로를 나타낸 것이다.

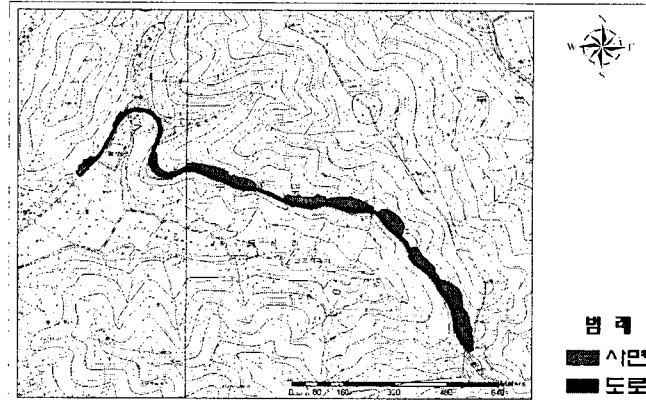


그림 3 사면지도

Logistic 회귀분석을 이용한 사면붕괴위험확률도를 만들기 위해 표 4에서 수집된 기본자료를 DB로 입력을 하였으며 입력된 DB를 이용하여 최종적인 붕괴확률을 산출하기 위해 테이블에 식을 입력하여 기본 자료값을 입력하면 자동적으로 붕괴확률이 산출이 되도록 만들었다. 그림 4는 사면별 속성데이터를 보여준다. 따라서 개별 사면에 대한 정보를 GIS시스템을 이용하여 확인을 할 수 있다.

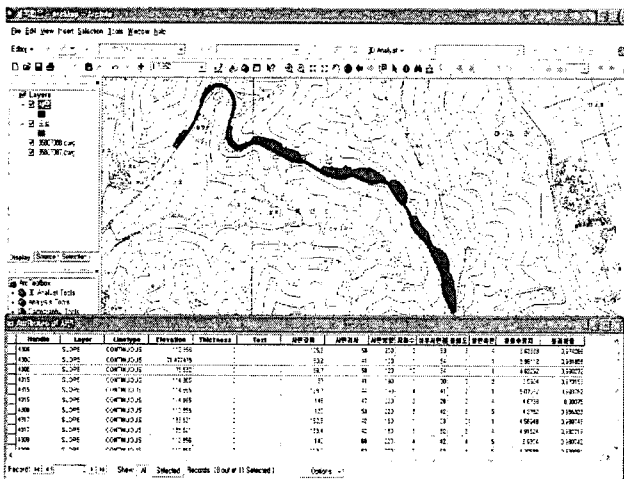


그림 4 각 사면에 입력된 속성데이터

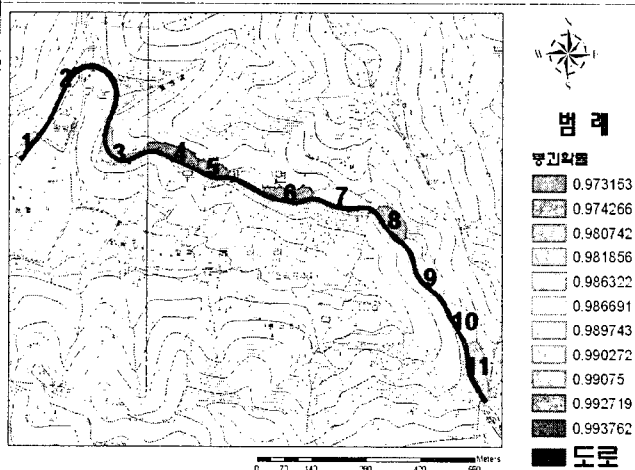


그림 5 사면붕괴확률위험도

그림 5는 붕괴확률방정식을 이용하여 연구대상 지역의 11개의 사면에 대하여 사면붕괴 위험 확률도를 제작하였다. 사면붕괴확률이 가장 높은 사면은 빨간색으로 나타난 4번째 사면이며 이는 표 5의 결과값과 일치함을 알 수 있다. 또한 실질적으로 4번 사면의 경우 암반사면으로 지하수가 흐르고 있었으며 풍화도도 진행중이었다.

감사의 글

본 연구는 건설기술기반구축사업(05기반구축 A 07) 연구비 지원으로 이루어졌으며 본 연구를 가능케 한 건설교통부에 감사드립니다.

4. 결 론

본 연구는 사면의 중요한 붕괴인자추출과 붕괴인자에 대한 경중률 등을 산정하기 위해 통계기법인 Logistic 회귀모형식을 이용하여 최종적으로 확률방정식을 산정하였으며 지리정보(GIS)기법을 적용하여 사면붕괴확률위험도를 제작하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 사면의 정확한 위치를 조사하기 위해 정밀 GPS와 Total Station을 이용하여 좌표를 산출하였으며 이를 이용하여 GIS의 기초자료로 활용하였다. 또한 획득된 좌표값은 높이값을 포함하고 있어 3차원으로 구축이 가능하였다.

둘째, 사면의 붕괴인자와 이들 인자간의 경중률을 산정하기 위해 통계기법인 Logistic 회귀모형식을 도입하였으며 최종적으로 확률방정식을 산출할 수 있었다. 연구지역에 확률방정식을 이용하여 붕괴위험 우선순위를 매겼으며 실질적으로 1순위로 선정된 사면이 실제조사에도 위험한 것으로 분석 되었다.

셋째, Logistic 회귀모형식을 이용하여 산출된 확률방정식을 GIS에 적용하여 사면붕괴확률위험도를 제작하였다. GIS기법을 활용한 사면붕괴확률위험도는 지리정보를 이용하여 사면의 정확한 위치 파악이 가능하며 사면의 형상이나 규모 등을 손쉽게 파악 할 수 있었으며 속성데이터를 이용하여 사면의 정확한 정보 파악이 가능하였다.

향후 확률방정식을 이용하여 사면붕괴위험등급을 산정하여 사면의 효율적 관리와 재해예방대책차원으로 활용될 수 있을 것이다. 또한 WebGIS 서비스를 제공함으로써 관련공무원들의 업무에 효율을 꾀할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 강인준, 장용구, 광영주(2006), 지상 LiDAR를 활용한 접도사면 위험평가에 따른 GIS관리, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, Vol 26, No1D, pp168~176
2. 건설교통부(2005), GIS를 이용한 도로 접도사면 재해위험도 작성 연구보고서, 중간보고서, pp. 15-23
3. 송문섭, 조신섭(1998), 윈도우용 SAS 를 이용한 통계자료분석, 자유아카데미, pp. 325~327
4. 이승호(2005), 사면안정의 현재와 미래, 지반공학회, Vol 21, No12., pp10~14
5. 정광모, 최용석(2002), 로지스틱회귀와 응용, 부산대학교, pp. 33~48
6. 한국건설기술연구원(2005), 2004년 도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용, 연구보고서, 건설교통부.
7. 홍원표, 송영석, 임석규(2005), 인공신경망 모델을 이용한 절개사면의 안정성 평가, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, , Vol 25, No4C, pp275~283
8. Geotechnical Engineering Office(GEO)(2003), GUIDE TO SLOPE MAINTENACE, GEGUIDE 5, The Government of the Hong Kong Spacial Administrative Region
9. 土木研究所(2004), GIS 活用を 道路斜面のリスク平價, 共同研究報告書, 日本 獨立行政法人 土木研究所. pp18~20
10. 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.