

## 다중회귀분석을 통한 경남 지방도로 절취사면의 안정성평가

강태승<sup>1</sup> · 엄정기<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>(주)지오이엔지, <sup>2</sup>부경대학교 환경탐사공학과

### Risk Assessment of the Road Cut Slopes in Gyeongnam based on Multiple Regression Analysis

Tae-Seung Kang<sup>1</sup> and Jeong-Gi Um<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>GEO Eng. Co., Ltd, <sup>2</sup>Dept. of Environ. Explo. Engineering, Pukyong National University

본 연구는 절리암반사면의 현장상태 및 위험도에 대한 현장조사를 기초로 사면의 상대적 위험도를 판단 할 수 있는 토대를 마련하기 위하여 개별요인이 사면안정성에 미치는 영향을 고찰하였으며 사면붕괴에 영향을 미치는 요인들에 대한 통계적 분석을 수행하였다. 사면의 붕괴요인으로는 기존에 제시된 인장균열, 지반변형, 구조물 변형, 붕괴발생규모, 절리주향, 절리경사, 절리상태, 사면경사, 강우 및 지하수위, 절취상태, 배수조건, 보호보강상태 등 12가지 항목을 고려하였다. 본 연구를 위한 조사지역은 경상남도 지방도로에 위치한 절취사면 중 붕괴 이력이 있거나 다소 불안감을 보이는 위험 절개지 233개소이다. 조사지역의 사면안정성평가는 각각의 평가요인(붕괴요인)에 따른 사면의 결합지수와 사면위험등급에 의해 수행되었다. 조사된 총 233개소의 사면 중 토사사면을 제외한 암반사면 126개소를 선별하여, 각각의 붕괴요인들과 사면위험등급과의 통계적 연관성분석을 실시하였다. 또한, 다중회귀분석을 수행하고 적용성을 고찰하여 사면결합지수와 위험등급을 예측할 수 있는 통계모형을 제시하였다.

**주요어** : 암반사면, 사면평가체계, 분할표해석, 다중회귀분석

The purpose of this study is to capture the essentials in survey and evaluation scheme which are able to assess the hazard of a rock slope systematically. Statistical analysis are performed on slope instability parameters related to failure of the rock slope. As the slope instability parameters, twelve survey items are considered such as tension crack, surface deformation, deformation of retaining structures, volume of existing failures, angles between strike of discontinuity and strike of cut slope face, angles between dip of discontinuity and dip of cut slope face, discontinuity condition, cut slope angle, rainfall or ground water level, excavation condition, drainage condition, reinforcement. A total of 233 road cut slopes located in Gyeongnam were considered. The stability of the road cut slopes were evaluated by estimating the slope instability index(SII) and corresponding stability rank. 126 rock slopes were selected to analyze statistical relation between SII and slope instability parameters. The multiple regression analysis was applied to derive statistical models which are able to predict the SII and corresponding slope stability rank. Also, its applicability was explored to predict the slope failures using the variables of slope instability parameters. The results obtained in this study clearly show that the methodology given in this paper have strong capabilities to evaluate the failures of the road cut slope effectively.

**Key words** : rock slope, slope evaluation system, contingency table analysis, multiple regression analysis

## 서 언

최근 급속한 경제발전에 기인한 도로 및 철도망 확충

에 수반되는 절취사면의 설계 및 유지관리는 국도, 고속도로, 철도, 터널 입출구부 등의 건설에 있어서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 이러한 절취사면의 안정성

\*Corresponding author: jum@pknu.ac.kr

및 확충사업의 가능성은 지질특성과 밀접하게 하게 연관되며, 지질구조와 암반특성을 충분히 이해 할 때에 확보될 수 있다. 현재 대부분의 절취사면에 있어서 이에 대한 고려가 이루어지고 있으나 과거에는 지질구조와 암반특성이 이해되지 못한 상태에서 절취사면의 시공이 수행되어 이에 관계된 부작용이 가시화 되고 있는 실정이다. 특히 지방도로의 경우에는 국도나 고속도로에 비하여 상대적으로 급경사를 이루는 사면이 많아 큰 위험성을 내포하고 있다. 관련 기관에서는 이에 대한 심각성을 인식하고 2003년 하반기부터 일정 규모를 갖는 절취사면을 시설물로 지정하여 지자체를 중심으로 한 정기안전진단 및 관리체계를 구축하고 있다(건설교통부, 2003).

암반사면은 암중 및 풍화 등의 지질특성, 불연속면의 방향성 및 전단강도 등의 역학적 특성, 불연속 암반 내에 작용하는 간극수압 또는 외부로부터 동역학적 요인, 사면경사 및 사면높이 등의 사면 재원에 따라 파괴양상을 달리한다. 현재까지의 암반사면안정해석은 평사투영법을 이용한 운동학적 해석(Goodman, 1989), 블록이론(Block Theory) 해석(Goodman and Shi, 1985) 및 한계평형 해석(Goodman 1989; Hoek and Bray, 1988) 등에 기초하여 사면안정해석을 수행하였다. 절취사면의 유지·관리 측면에서는 붕괴위험의 경중에 따른 사면 선정 및 관리를 위한 체계적인 사면평가시스템의 필요성이 대두되고 있다. 사면평가시스템은 수많은 존재하는 절취사면 중 신속히 위험사면을 선정하기 위해 많은 국외·내 연구자들에 의해 제안되었다.

홍콩의 사면 안정성 평가방법은 위험도가 높은 사면을 선별하고 보강우선순위를 부여하여 위험사면을 안정화시키기 위해 작성되었다(Wakens, A. T., 1986). 일본도로공단(1986)의 사면안정성평가방법은 사면의 안정성에 영향을 미치는 요인을 평가하고 이 요인들에 대한 가중치를 배점화하는 방법을 채택하였다. 일본국철의 사면안정성평가방법은 일본 국철 구간의 사면 중 붕괴이력이 있는 사면과 안정한 사면에 대한 현장 조사 자료를 바탕으로 붕괴요인을 선정한 후 각 요인이 붕괴에 미치는 영향 및 상관관계를 고려하여 평가점수를 산정하고, 각 요인별 점수의 합으로 사면의 붕괴위험 정도를 판단하였다.

국내에서는 최경(1986)의 사면안정성평가방법을 시작으로 한국건설기술연구원(1989), 국립방재연구소(2001) 및 한국건설교통부(2003)의 사면안정성평가방법이 제시되었다. 이들 평가방법은 제안자의 주관적인 견해에 따라 평가항목과 각 평가항목에 대한 가중치가 달리 적용

되어 동일한 사면에 대해서도 서로 상이한 평가결과가 도출될 수 있다. 따라서 현재 연구자들은 사면의 불안정성에 영향을 미치는 요인들을 객관적으로 선별하고 이러한 요인들을 토대로 다양한 통계분석방법에 따른 사면 안정성평가에 대한 모델을 개발하고자 노력하고 있다. 채병곤 등(2004)은 자연사면에 발생하는 토석류(debris flow) 산사태에 영향을 주는 요인을 선별하기 위해 다변량분석을 실시하고 선별된 요인에 대하여 로지스틱회귀분석을 수행하여 산사태의 확률론적 예측모델을 제시하였다. 또한, 이용희 등(2004)은 암반사면의 안정성평가를 위해 기존의 연구자들이 제시한 요인 중 공통적인 요인을 선별하여 로지스틱회귀분석법을 실시하고 암반사면 붕괴에 관한 확률론적 예측모델을 제안하였다.

본 연구에서는 현재 암반사면안정성평가에 적용되고 있는 건설교통부의 평가시스템 중 절리암반사면 평가기준을 토대로 평가항목(붕괴요인)과 사면위험등급의 연관성 유무를 고찰하였으며 붕괴요인에 따른 사면위험등급을 통계적으로 예측할 수 있는 회귀모형을 제시하기 위하여 다중회귀분석을 수행하였다. 이를 위한 분석 자료는 건설교통부(2003)의 절취암반사면의 평가 방법을 기초로 하여 경상남도 지방도로에 위치한 233개소의 암반 및 토사로 이루어진 절취사면을 대한 현장조사 결과(박춘식 등, 2004)를 사용하였다. 조사된 233개소의 사면 중 126개소의 암반사면에 대해서는 절리암반사면 평가항목으로 제시된 인장균열, 지반변형, 구조물변형, 파괴발생규모, 절리주향과 사면주향의 차이, 절리경사와 사면경사의 차이, 절리상태, 사면경사, 강우 및 지하수위, 절취상태, 배수조건, 보호 및 보강상태 등 총 12개의 평가항목을 적용한 사면의 상태평가를 실시하여 사면의 결합지수(붕괴지수)를 산정하고 사면등급을 분류하였다. 또한 다중회귀분석을 통하여 사면결합지수를 예측하고 사면평가등급을 추정할 수 있는 회귀모형을 제시하였다.

## 사면 안정성 평가

본 연구에서 적용한 사면평가 기준(건설교통부, 2003)은 사면의 손상상태와 파괴요인에 관련된 항목으로 구분된다. 절취암반사면의 손상상태와 파괴요인에 의한 세부적인 평가항목은 Table 1에 수록되어있다. 사면손상상태는 파괴정후 및 파괴현황에 따라 인장균열, 지반변형, 구조물변형 및 발생규모 등이 평가항목으로 사용되며, 사면파괴요인으로는 절리의 방향성 및 상태에 관계된 지

**Table 1.** Relative rock slope evaluation system of the MOCT(2003).

Parameter	Measurement or description (Rating)				
① Tension crack (mm)	None (0)	< 1 (1-3)	1 - 5 (4-5)	5 - 50 (6-7)	> 50 (8-10)
② Surface deformation		No (0-2)		Yes (3-5)	
③ Structure deformation		No (0-2)		Yes (3-5)	
④ Volume of existing failure (m <sup>3</sup> )	None (0)	< 1 (1)	1 - 8 (2)	8 - 64 (3)	> 64 (4)
⑤ Strike of discontinuity with respect to strike of cut slope face	> 45° (0)	30° - 45° (1-2)	20° - 30° (3-4)	10° - 20° (5-6)	< 10° (7-8)
⑥ Dip of discontinuity with respect to dip of cut slope face	> 10° (0)	0° - 10° (1-2)	0° (3-4)	-10° (5-6)	< -10° (7-8)
⑦ Fracture condition	Very favorable (0)	Favorable (1-2)	Fair (3-4)	Unfavorable (5-6)	Very unfavorable (7-8)
⑧ Cut slope angle	< 45° (0)	45° - 55° (1)	55° - 64° (2)	64° - 73° (3)	> 73° (4)
⑨ Rainfall (mm) or Groundwater level (H: slope height)	0 Dry (0)	0 - 50 1/3H (1)	50 - 100 1/2H (2)	100 - 150 2/3H (3)	> 150 1H (4)
⑩ Excavation condition	Very Good (0)	Good (1-2)	Fair (3-4)	Bad (5-6)	Very Bad (7-8)
⑪ Drainage condition	Very Good (0)	Good (1)	Fair (2)	Bad (3)	Very Bad (4)
⑫ Protective/Reinforcement		Satisfactory (0-2)	Outworn (3-5)	Defected (6-8)	

Slope Instability Index (SII) =  $\sum(\text{①-⑫})/76$

**Table 2.** Criteria of relative slope rank of the MOCT(2003).

Relative stability rank	Slope instability index	Condition of slope facilities
A	0.00 < SII ≤ 0.15	Best slope condition without any trouble
B	0.15 < SII ≤ 0.30	Slightly damaged, continuous observation needed, maintenance on demand
C	0.30 < SII ≤ 0.55	Defected but no problem with safety, scheduled maintenance and reinforcement if necessary
D	0.55 < SII ≤ 0.75	Defected, potential failure exist, urgent maintenance and reinforcement needed
E	0.75 < SII ≤ 1.00	Seriously damaged, restriction may apply to use facility, remodeling or reconstruction required

반상태 및 사면 형상과 인적·자연적 요인에 의한 항목으로 구성되어 있다. 절취사면의 결합지수(Slope Instability Index : SII) 산출방법은 사면의 손상상태항목 점수와 사면 파괴요인 항목 점수의 합을 76점으로 나누어 산정한다. 사면등급(relative stability rank)은 항목별 평가에 의해 산출된 결합지수에 따라 A, B, C, D, E의 5등급으로 구분하며, 등급에 대한 사면상태에 대한 세부적인 내용은 Table 2에 수록되어있다.

연구 사면은 경상남도 마산시 5개소, 통영시 19개소, 밀양시 2개소, 거제시 39개소, 양산시 6개소, 의령군 9

개소, 창녕군 4개소, 고성군 24개소, 합천군 5개소, 진주시 8개소, 사천시 14개소, 남해군 9개소, 하동군 16개소, 산청군 10개소, 함양군 27개소, 거창군 29개소 등의 붕괴 이력이 있거나 다소 불안감을 보이는 위험 절개지 233개소이다. 본 연구에서는 토사사면, 암반사면, 복합사면으로 분류하여 사면의 규모(연장성, 높이), 사면의 종류(토사, 암반, 복합), 사면의 경사, 암종, 누수정도, 보강상태, 사면방향, 파괴유형을 검토하였다. 조사된 전체 사면 중 암반사면은 126개소, 토사사면은 61개소, 그리고 복합사면은 45개소로 조사되었다. 사면의 연장성은 200

**Table 3.** Relative stability ranks of investigated road cut slopes in the study area.

Location	No. of slope	Total length(m)	Relative stability rank				
			A	B	C	D	E
Masan	5	385	.	.	2	3	.
Tongyoung	19	3,193	.	.	2	14	3
Mirang	2	437	.	.	1	1	.
Geojae	39	7,104	.	.	10	20	9
Yangsan	6	1,043	.	.	2	6	.
Uryeong	9	1,535	.	.	2	5	2
Hamahn	7	559	.	.	2	4	1
Changryeong	4	1,188	.	.	1	3	.
Kosung	24	2,360	.	1	10	7	6
Hapcheon	5	1,010	.	.	2	1	2
Jinjoo	8	2,905	.	.	6	1	1
Sacheon	14	1,315	.	2	6	5	1
Namhae	9	1,083	.	1	3	2	3
Hadong	16	2,740	.	1	5	8	2
Sancheong	10	1,510	.	.	3	5	2
Hamyang	27	7,912	1	1	8	15	2
Geochang	29	4,590	.	3	7	15	4
Total	233	40,869	1	9	70	115	38

m 이하가 전체사면 중 70.9%를 점하며, 사면의 높이는 전체사면 중 50.2%가 10~20 m를 갖는다. 사면경사는 전체사면 중 37.8%가 1:0.3이상, 즉, 70° 이상의 경사를 가지는 것으로 나타났다. 건설교통부의 사면평가 기준에 따라 각각의 평가항목에 대하여 배점을 부여하고 결합지수와 사면등급을 산정한 결과 사면등급은 Table 3에 나타난 바와 같이 A등급은 1개소, B등급은 9개소, C등급은 70개소, D등급은 115개소, 그리고 E등급은 38개소로 분류되었다.

### 붕괴요인의 통계적 연관성

통계모형(인과관계)에서는 영향을 주는 변수와 그 변수들에 의해 영향을 받는 변수가 존재하며, 여기서 영향을 주는 변수를 독립변수(independent variable), 영향을 받는 변수를 종속변수(dependent variable)라 한다. 일반적인 통계 모형은 관계 식(1)으로 나타낼 수 있다.

$$Y=f(X_1, X_2, \dots, X_p)+e \quad (1)$$

본 연구의 자료는 분할표(contingency table)의 모형구조를 가지는 범주형 자료에 해당되며 각각의 평가항목을 독립변수로, 사면등급을 종속변수로 설정할 수 있다.

분할표 모형구조에 대한 해석은 사면등급과 각각의 평가항목들의 연관성에 대한 유용한 정보를 제공한다. 두 변수의 관측 값은 분할표의 형태로 규정될 수 있으며, 두 변수간의 연관성은 분할표의 독립성 검정을 수행한 후, 두 변수 사이의 연관성의 척도(measure of association)에 따라 변수간의 관련 정도를 설명할 수 있다. 이와 같은 연관성분석은 각각의 평가요인이 사면등급에 미치는 영향을 통계량을 통하여 정량화 할 수 있는 장점이 있다.

범주형 자료는 반응범주에서 관찰되는 빈도수로 구성된다. 두 개의 범주형 변수를 각각 X와 Y로 표시하고 각각 I, J 수준에서 X를 행으로 Y를 열로 하여 분할표를 만들면 I×J 개의 결합조건이 존재한다. 이를 I×J 분할표라하며 Table 4와 같이 표현한다(정광모, 2002).

X의 각 수준에서 Y의 조건부분포가 동일할 때 두 변수 X, Y는 통계적으로 독립(statistically independent)이라 한다. 분할표 자료구조에서 통계적으로 완전한 독립이라는 것은 독립변수와 종속변수간에 연관성이 전혀 없다는 것을 의미하며 이와 같은 분할표에 대한 독립성검정을 통하여 두 변수간의 독립성 또는 연관성을 규명할 수 있다.

칸 확률들이 특정한 고정된 값  $\pi_{ij}$  와 같다는 귀무가설( $H_0$ )을 검정하는 통계량은 피어스카이제곱통계량( $\chi^2$ )

**Table 4.** Structure of I×J contingency table.

X	Y	Dependent variable				Row Total
		1	2	...	J	
independent variable	1	$n_{11}(\pi_{11})$	$n_{12}(\pi_{12})$	...	$n_{1j}(\pi_{1j})$	$n_{1+}(\pi_{1+})$
	2	$n_{21}(\pi_{21})$	$n_{22}(\pi_{22})$	...	$n_{2j}(\pi_{2j})$	$n_{2+}(\pi_{2+})$
	...	...	...	...	...	...
	I	$n_{i1}(\pi_{i1})$	$n_{i2}(\pi_{i2})$	...	$n_{ij}(\pi_{ij})$	$n_{i+}(\pi_{i+})$
Column Total		$n_{+1}(\pi_{+1})$	$n_{+2}(\pi_{+2})$	...	$n_{+j}(\pi_{+j})$	$n(\pi_{++})$

note:  $n_{ij}$ ; Number of data observed in cell  $ij$ ,  $n_{i+}$ ; Total number of data from  $i$ th row( $=\sum_{j=1}^J n_{ij}$ ),  $n_{+j}$ ; Total number of data from the  $j$ th column( $=\sum_{i=1}^I n_{ij}$ ),  $n$ ; Total number of data from the contingency table( $=\sum_{ij} n_{ij}$ )

이며, 식(2)과 같이 표현된다.

$$\chi^2 = \sum_{ij} \frac{(n_{ij} - \mu_{ij})^2}{\mu_{ij}} \quad (2)$$

여기서  $n_{ij}$ 는 칸도수이며 총 표본크기가  $n$ 인 표본에서  $\mu_{ij} = n\pi_{ij}$ 는 기대도수(expected frequencies)이다.  $H_0$ 이 참이라면 각 칸의  $n_{ij}$ 는  $\mu_{ij}$ 과 같으므로  $n_{ij}$ 와  $\mu_{ij}$ 의 차이가 클수록  $H_0$ 에 대한 반증이 더 강하게 되어 연관성이 높아진다. 대표본인 경우 카이제곱통계량은 귀무가설 하에서 근사적으로  $\chi^2$ -분포를 따른다. 표본의 크기에 대해 “큰”값의 기준을 규정하는 것은 어렵지만 기대도수( $\mu_{ij}$ )가 5이상이면 충분히 큰 것으로 알려져 있다.  $\chi^2$ -분포는 오른쪽으로 긴 꼬리를 갖는 형태를 가지며, 자유도 (degree of freedom)에 의하여 매우 민감하게 반응한다. 분할표에서 행과 열의 개수가 각각  $I, J$  개로 구성되었다면 자유도는  $(I-1)(J-1)$ 이다.

우도비카이제곱통계량( $G^2$ )은 피어스카이제곱통계량과 매우 유사한 결과를 주는 통계량으로 다음 식(3)과 같이 정의된다.

$$G^2 = -2 \log(\Lambda) = 2 \sum_{ij} (n_{ij}) \log\left(\frac{n_{ij}}{\mu_{ij}}\right) \quad (3)$$

피어스카이제곱통계량과 마찬가지로 모든 칸에서  $n_{ij} = \mu_{ij}$  일 때  $G^2$ 는 최소값 0이 되며 독립성검정에 대해 통상 같은 결론을 나타낸다.  $H_0$ 이 참이고 표본 칸도수가 큰 경우 두 통계량은 동일한 분포를 따르며 통계량 값도 유사하다.  $\chi^2$ -검정통계량과  $G^2$ -검정통계량은 분할표 범주들의 순서를 바꾸어도 계산된 검정통계량 값

은 변하지 않는다.

본 연구에서 사용된 자료는 독립변수와 종속변수가 범주점수를 가지는 순서형 자료이다. 예를 들면, 인장균열과 사면등급간의 독립성검정에서 인장균열은 0, 1-3, 4-5, 6-7, 8-10의 범주를 가지며, 사면등급은 Table 2와 같이 결합지수에 따라 A, B, C, D, E의 범주를 가진다 따라서 순서를 고려한 순서자료에 대한 독립성검정에 대해서도 논의할 필요가 있다.

순서형 자료의 독립성검정에는 상관정보를 이용한 양 또는 음의 선형추세관계를 가지는 검정통계량이 사용될 수 있다(정광모, 2002). 선택된 범주점수에 대해 X와 Y 간의 피어스곱적률상관( $r$ )은 -1과 +1사이에 속하며 두 변수가 독립이면 실제 상관계수 값이 0이 된다. 상관의 절대값이 클수록 자료는 독립성에서 멀어지게 된다. “실제 상관이 0이 아니다” 양측대립가설에 대해 독립성의 귀무가설을 검정하는 통계량은 Mantel-Haenszel 카이제곱검정통계량이라하며 식(4)와 같이 표현된다.

$$M^2 = (n-1)r^2 \quad (4)$$

통계량  $M^2$ 은 표본상관계수  $r$  또는 표본크기가 커짐에 따라 증가하게 되고, 대표본인 경우 자유도 1인 카이제곱분포를 따르며 p-value가 클수록 독립성에서 멀어진다. p-value는  $\chi^2$  및  $G^2$ 에서의 마찬가지로 관측값의 우측꼬리확률로 주어진다.

본 연구에서는 총 233개소의 절취사면 중 암반사면평가기준을 적용한 126개소에 대하여 각각의 평가항목(붕괴요인)별로 사면등급과의 연관성을 분석하기 위해 독립성검정을 수행하였다. 여기서 독립변수는 각각의 평가항목의 점수를 사용하였으며, 종속변수는 사면등급 C이

하, D, E로 설정하였다. 이는 각각의 요인에서 평가된 점수가 사면등급에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하기

위한 것으로 Table 5와 같이 각 평가항목의 점수와 사면등급에 대한 분할표로 나타낼 수 있다. 제시된 분할표

**Table 5.** Contingency tables for slope parameters vs. slope stability ranks.

(a) Tension crack (x1)				(b) Surface deformation (x2)			
x1 \ Stability rank	≤C	D	E	x2 \ Stability rank	≤C	D	E
0	4	3	0	0~2	35	8	0
1~3	35	11	1	3~5	14	50	19
4~5	9	22	7				
6~7	1	11	5				
8~10	0	11	6				

(c) Structure deformation (x3)				(d) Volume of existing failure (x4)			
x3 \ Stability rank	≤C	D	E	x4 \ Stability rank	≤C	D	E
0~2	44	33	3	0	4	1	0
3~5	5	25	16	1	26	0	1
				2	16	26	1
				3	2	23	11
				4	1	8	6

(e)  strike of fracture-strike of slope  (x5)				(f)  dip of fracture-dip of slope  (x6)			
x5 \ Stability rank	≤C	D	E	x6 \ Stability rank	≤C	D	E
0	14	1	0	0	10	1	1
1~2	14	14	3	1~2	26	10	2
3~4	6	6	3	3~4	4	4	1
5~6	7	23	5	5~6	6	14	2
7~8	8	14	8	7~8	3	29	13

(g) Fracture condition (x7)				(h) Slope angle (x8)			
x7 \ Stability rank	C<math>\leq</math>하	D	E	x8 \ Stability rank	≤C	D	E
0	0	0	0	0	1	0	0
1~2	9	0	0	1	9	6	0
3~4	36	9	0	2	6	9	1
5~6	2	29	7	3	17	25	4
7~8	2	20	12	4	16	18	14

(i) Rainfall or groundwater level (x9)				(j) Excavation condition (x10)			
x9 \ Stability rank	≤C	D	E	x10 \ Stability rank	≤C	D	E
0	5	8	2	0	1	0	0
1	43	34	9	1~2	3	0	0
2	1	13	7	3~4	37	21	2
3	0	3	1	5~6	7	28	8
4	0	0	0	7~8	1	9	9

(k) Drainage condition (x11)				(l) Protective/Reinforcement (x12)			
x11 \ Stability rank	≤C	D	E	x12 \ Stability rank	≤C	D	E
0	2	0	0	0~2	12	5	0
1	6	2	0	3~5	27	5	0
2	5	20	3	6~8	10	48	19
3	10	18	12				
4	26	18	4				

Table 6. Result obtained from contingency table analysis.

Parameters	Statistics	$\chi^2$ stat.	p-value	G <sup>2</sup> stat.	p-value	M <sup>2</sup> stat.	p-value
x1		51.9999	<.0001	61.3845	<.0001	36.2971	<.0001
x2		50.839	<.0001	56.5838	<.0001	44.4622	<.0001
x3		34.3668	<.0001	37.2162	<.0001	33.891	<.0001
x4		76.759	<.0001	90.8434	<.0001	52.2784	<.0001
x5		30.0251	0.0002	31.9801	<.0001	16.8063	<.0001
x6		48.2792	<.0001	53.4233	<.0001	37.7315	<.0001
x7		85.9582	<.0001	100.7174	<.0001	61.8113	<.0001
x8		16.3044	0.0382	17.7455	0.0232	8.7204	0.0031
x9		19.6808	0.0116	23.5619	0.0027	8.3653	0.0038
x10		49.4438	<.0001	51.8391	<.0001	41.4444	<.0001
x11		28.2499	0.0004	28.9211	0.0003	0.1	0.7519
x12		58.6874	<.0001	66.7396	<.0001	39.0867	<.0001

의 칸에는 0의 도수값이 존재하는 경우가 발생한다. 하지만 비록 칸이 비어있다 해도 이론적으로 관측치가 발생할 수 있으므로 0 대신에 10<sup>-8</sup>의 작은 값을 적용하여 연관성 분석을 실시하였다.

각각의 평가항목별 사면등급으로 이루어진 분할표에 대하여 SAS 통계패키지를 사용하여 독립성 검정을 위한 통계량(피어슨카이제곱, 우도비카이제곱, Mantel-Haenszel 카이제곱)과 이들 통계량에 대한 유의확률 값(p-value)을 산정하였다. 12개 평가항목에 대한 분할표 모형의 분석결과가 Table 6에 수록되어있다.

산정된 p-value값이 적을수록 독립성이 결여되어 연관성이 높은 것을 의미하므로 12가지 붕괴요인 중 피어슨 카이제곱과 우도비 카이제곱 그리고 Mantel-Haenszel 카이제곱의 p-value로부터 0.05이상의 값을 보이는 배수조건(x11)은 통계적 독립으로 해석될 수 있으며 사면등급과 낮은 연관성을 갖는다고 할 수 있다. 이에는 지방도로의 관리 특성상 배수도가 설치되지 않아 점수가 높게 평가된 것에 기인하는 것으로 사료된다. 또한 조사된 사면에서는 배수조건의 변화에 따라 뚜렷한 사면등급의 변화가 없는 것으로 평가되었다. 그러나 배수조건은 사면의 안정성에 큰 영향을 미치는 요소이며, 배수조건에 대한 현재의 배점체계에 대해서는 조사자의 주관적인 견해를 배제할 수 있는 방향으로 개선이 이루어져야 한다고 사료된다. 분석 자료의 신뢰성이 낮은 것으로 판단되는 배수조건을 제외한 모든 요인과 사면등급 간에는 연관성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 상기한 가지 요인을 제외한 기존의 평가체계는 높은 정도의 타당성과 신뢰성을 갖는 것으로 해석할 수 있다.

### 다중회귀분석

다중회귀분석에 사용된 독립변수는 Table 7과 같이 12개의 붕괴요인을 연속형으로 간주하여 변수명을 부여하였으며, 종속변수는 12가지의 요인에 의해 평가된 사면결함지수이다. 독립변수는 평가항목인 12개의 변수에 대하여 FORWARD SELECTION, BACKWARD ELIMINATION 및 STEPWISE 변수선택 등을 적용하여 Table 8과 같이 변수그룹으로 이루어진 case를 설정하였다. 각각의 case에 대해서는 다중회귀분석을 수행하여 예측된 사면결함지수(PSII : predicted slope instability index)를 산정하였으며, 현장조사에 의하여 평가된 사면결함지수(ESII : estimated slope instability index)간의 관계를 고찰하였다.

Table 7. Variables for statistical analysis.

Variables	Parameters
x1	Tension crack
x2	Surface deformation
x3	Structure deformation
x4	Volume of existing failure
x5	{strike of fracture-strike of slope}
Independent Variables	{dip of fracture-dip of slope}
x6	Fracture condition
x7	Slope angle
x8	Rainfall or groundwater level
x9	Excavation condition
x10	Drainage condition
x11	Protective/Reinforcement
x12	
Dependent Variable	SII Slope instability index

**Table 8.** Selected variables in each case of regression analysis.

Models	selected variables
case1	x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x10, x11, x12
case2	x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x10, x12
case3	x1, x2, x4, x5, x6, x7, x8, x10, x12
case4	x1, x2, x5, x6, x7, x8, x10, x12
case5	x1, x2, x5, x6, x7, x10, x12
case6	x1, x2, x5, x6, x7, x12

각 case 별로 다중회귀분석을 수행하여 도출된 예측 사면결합지수의 다중회귀모형에 사용되는 추정값과 다중회귀모형에 대한 유의성을 나타내는 검정통계량 및 회귀모형의 적합성을 나타내는 결정계수(R<sup>2</sup>)가 Table 9에 나타나 있다. 검정통계량 F값으로 추정된 p-value는 0.05보다 작으므로 전체 회귀계수가 0이라는 귀무가설을 기각하여 전체회귀모형은 유의하다고 판단 할 수 있다. 또한 각 회귀모형에 대한 R<sup>2</sup> 값은 모두 높은 상관성을 나타내고 있다. Figure 1은 각각의 case 별 평가항목에 의하여 현장조사로부터 평가된 사면결합지수와 Table 9의 다중회귀모형에 의하여 예측된 사면결합지수를 비교한 결과이다. 또한, 예측사면결합지수 값에 의해 분류된 예측사면등급의 정오분류표가 Table 10에 수록되어 있다.

조사사면에 대하여 12개의 평가항목에 의해 평가된 사면결합지수와 11개요인(case1)을 사용하여 다중회귀분석을 통한 예측사면결합지수에 의해 분류된 사면등급을 비교하였을 때, 전체사면 중 3개소가 E등급에서 D등급으로, 1개소가 D등급에서 C등급으로, 1개소가 C등급에서 B등급으로 상향 예측되었으며, 1개소가 D등급에서 E등급으로 하향 예측되어 총 6개소에서 다른 등급으로 예측되었다. 이들 중 3개소의 E등급 사면은 모두 0.75의 결합지수를 갖는 것으로 조사된 사면이며, 0.75의 결합지수는 E등급이 시작되는 경계부분이므로 결합지수의 미소한 차이로 인하여 사면등급이 변화하였다고 볼 수

있다. case2는 case1에서 배수조건(x11)을 제외한 경우이며, 사면등급의 변화는 전체 사면 중 4개소가 E등급에서 D등급으로, 1개소가 D등급에서 C등급으로 상향 예측되었으며, 1개소가 A등급에서 B등급으로 하향 예측되었다. case2에서 구조물변형(x3)을 제외한 경우인 case3는 전체사면 중 4개소가 E등급에서 D등급으로, 2개소가 D등급에서 C등급으로, 1개소가 C등급에서 B등급으로 상향 예측 되었고 1개소가 A등급에서 B등급으로 하향 예측되었다. 파괴 발생규모(x4)를 추가로 제외한 case4에서는 전체사면 중 5개소가 E등급에서 D등급으로, 1개소가 D등급에서 C등급으로, 2개소가 C등급에서 B등급으로 상향 예측되었으며, 1개소가 A등급에서 B등급으로 하향 예측되어 총 9개소에서 등급변화가 나타났다. Case5와 case6에서는 각각 14개소와 21개소에서 등급변화가 나타났음을 알 수 있다.

12개 요인에 의해 평가된 사면결합지수에 의해 분류된 사면등급과 각각의 case에 대한 다중회귀모형에 의해 예측된 사면등급을 정리해 보면, 전체 126개의 사면 중 case1과 case2는 120개소(95.24%), case3는 118개소(93.65%), case4는 117개소(92.86%), case5는 112개소(88.89%), case6는 105개소(83.88%)에서 다중회귀모형이 정확한 사면등급을 예측하였다. 이와 같은 회귀모형의 예측 정확도는 변수선택에 관계없이 독립변수(평가항목)의 수가 줄어들수록 감소한다는 것을 의미하며, 독립변수의 수가 증가할수록 최적모형이 도출될 가능성이 높다는 것을 시사한다. 이에선 전철의 연관성 분석 결과에서 언급하였듯이 본 연구에서 다중회귀모형에 사용된 대부분의 독립변수들이 종속변수와 높은 연관성을 갖기 때 문인 것으로 사료된다.

Case1에서 case4까지의 회귀모형은 90%이상의 정확도를 나타냈는데, 특히 case4의 경우 인장균열, 지반변형, 절리주향, 절리경사, 절리상태, 사면경사, 절취상태 및 보호·보강 등의 8항목만으로 사면등급의 예측을 시도할 수 있다는 것은 주목할 만하다. 이에선 재원이 열

**Table 9.** Statistics of the multiple regression models.

Models	Coefficients												F-value	Pr>F	R <sup>2</sup>
	Intercept	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x10	x11	x12			
Case1	0.006	0.013	0.014	0.013	0.013	0.012	0.014	0.013	0.013	0.015	0.013	0.013	5157.41	<.0001	0.9980
Case2	0.037	0.012	0.013	0.009	0.014	0.011	0.014	0.012	0.014	0.018	-	0.016	2119.91	<.0001	0.9946
Case3	0.033	0.013	0.019	-	0.016	0.011	0.014	0.012	0.014	0.016	-	0.017	1522.74	<.0001	0.9916
Case4	0.038	0.014	0.024	-	-	0.012	0.014	0.013	0.014	0.017	-	0.017	1137.86	<.0001	0.9873
Case5	0.068	0.014	0.025	-	-	0.012	0.015	0.010	-	0.019	-	0.018	870.74	<.0001	0.9810
Case6	0.108	0.014	0.023	-	-	0.011	0.017	0.019	-	-	-	0.020	492.35	<.0001	0.9613



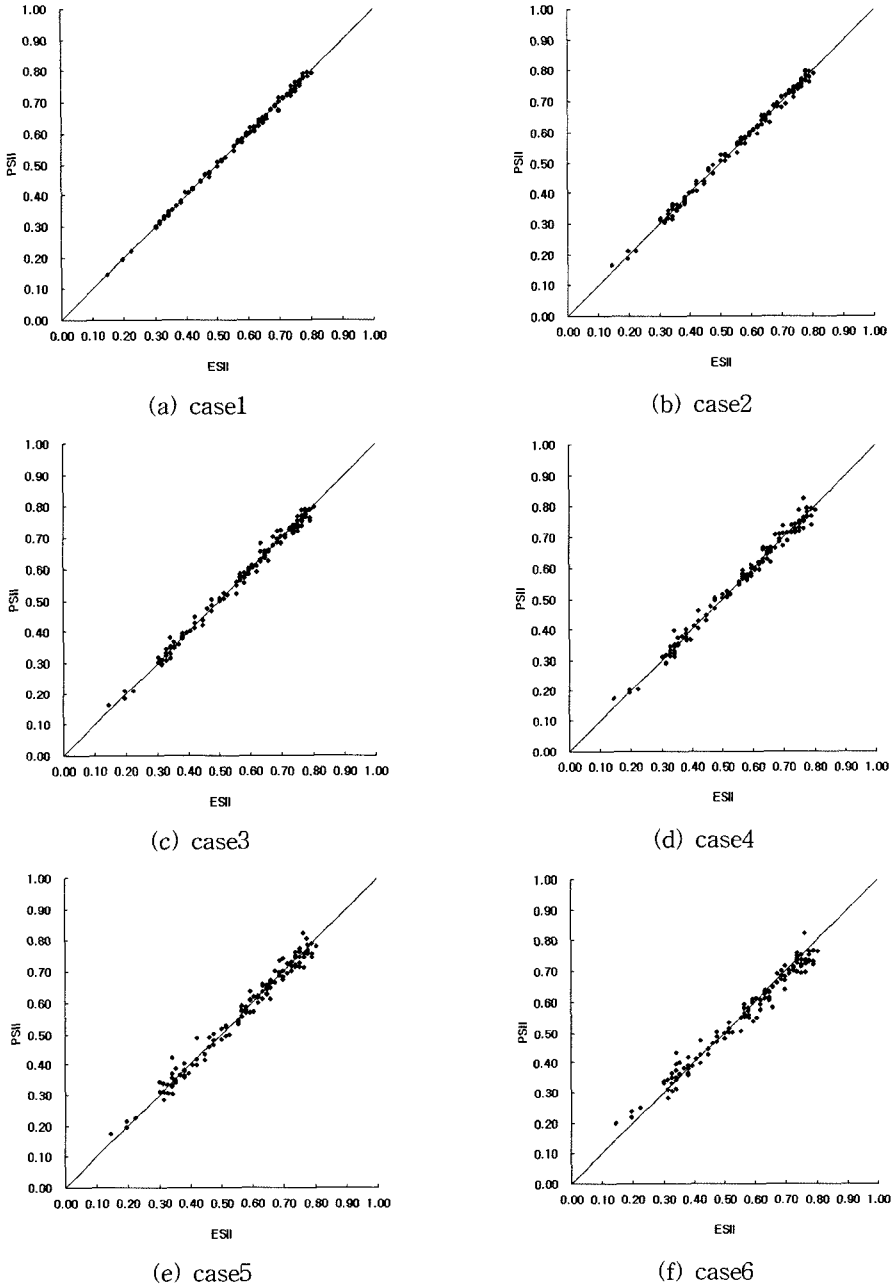


Fig. 1. Scattergraphs between predicted and estimated slope instability index for each case.

악한 지방도로의 실정상 파괴규모나 강우 및 지하수위를 모니터링하기 어려운 경우가 많으며 배수시설이나 구조물의 설치 또한 미흡하여 조사항목으로써의 실효성이 낮다고 판단되기 때문이다.

### 다중회귀모형의 현장적용

본 연구지역에서 도출된 다중회귀모형에 대한 현장 적용성을 검토하기 위하여 연구지역 내에 위치하는 삼

**Table 10.** Accuracy of the multiple regression models.

case1	Predicted rank						Accuracy
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	
A	1					1	95.24%
B		3				3	
C		1	44			45	
D			1	56	1	58	
E				3	16	19	
Total	1	4	45	59	17	126	

(a)

case3	Predicted rank						Accuracy
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	
A		1				1	93.65%
B		3				3	
C		1	44			45	
D			2	56		58	
E				4	15	19	
Total		5	46	60	15	126	

(c)

case5	Predicted rank						Accuracy
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	
A		1				1	88.89%
B		3				3	
C		1	44			45	
D			3	53	2	58	
E				7	12	19	
Total		5	47	60	14	126	

(e)

case2	Predicted rank						Accuracy
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	
A		1				1	95.24%
B		3				3	
C			45			45	
D			1	57		58	
E				4	15	19	
Total		4	46	61	15	126	

(b)

case4	Predicted rank						Accuracy
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	
A		1				1	92.86%
B		3				3	
C		2	43			45	
D			1	57		58	
E				5	14	19	
Total		6	44	62	14	126	

(d)

case6	Predicted rank						Accuracy
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	
A		1				1	83.33%
B		3				3	
C		1	44			45	
D			5	52	1	58	
E				13	6	19	
Total		5	49	65	7	126	

(f)

랑진-밀양 부근의 도로절취사면에서 수행된 조사자료 (Um et al., 2004)가 Table 9의 회귀모형에 적용되었다. 총 29개소의 도로절취사면에서 조사된 사면결합지수에 의해 분류된 사면등급과 본 연구의 다중회귀모형을 적용한 후 예측된 사면등급의 결과가 Table 11에 나타나있다.

다중회귀 모형을 통해 사면붕괴지수를 예측하여 사면 등급을 추정한 결과, 삼랑진-밀양 지역의 29개소의 사면 중 case1은 28개소(96.55%), case2는 27개소(93.10%), case3는 27개소(93.10%), case4는 28개소(96.55%), case5는 27개소(93.10%), case6는 24개소(82.76%)에서 예측 사면등급이 현장조사 시의 사면등급과 일치하였다. 이와 같이 연구지역의 표본 자료로부터 도출된 회귀모형을 지역 내 다른 사면평가 자료에 적용하였을 때 case6을 제외한 모든 경우에서 90% 이상의 정확도로 사면등급을 예측한 것은 사면안정 연구에 있어서 다중회귀분석과 같은 통계학적 방법론이 매우 유용하게 사용될 수 있다는 점을 시사한다. 다중회귀분석에 의한 사면안정성검토는

건교부에서 제시한 12가지 평가항목을 충분히 고려할 수 없는 경우 평가항목을 소폭 축소하여 사면등급을 예측할 수 있는 대안으로도 활용 가능할 것으로 사료된다.

**결 론**

본 연구는 경남 지방도로에 위치하는 233개소의 절취 사면 중 암반사면 126개소를 선별하여 평가항목(붕괴요인)별로 사면등급과의 연관성을 분석하고 평가항목의 타당성을 검토하였다. 또한, 붕괴요인에 따른 사면위험등급을 통계적으로 예측할 수 있는 회귀모형을 검토하기위하여 다중회귀분석을 수행하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 경남 지방도로의 절취사면 중 붕괴 이력이 있거나 다소 불안감을 보이는 절리암반사면은 126개소이며, 사면등급은 A등급 1개소, B등급 9개소, C등급 70개소, D등급 115개소, 그리고 E등급 38개소로 조사되었다.
- 2) 조사된 절취사면 중 암반사면 126개소에 대하여

**Table 11.** Results obtained by multiple regression analysis using the data from Samyangjin-Miryang area.

case1		Predicted rank						
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	Accuracy	
A								
B		1				1		
C			14			14		
D			1	13		14		
E								
Total		1	15	13		29	96.55%	
(a)								
case2		Predicted rank						
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	Accuracy	
A								
B		1				1		
C			14			14		
D			2	12		14		
E								
Total		1	16	12		29	93.10%	
(b)								
case3		Predicted rank						
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	Accuracy	
A								
B		1				1		
C			14			14		
D			2	12		14		
E								
Total		1	16	12		29	93.10%	
(c)								
case4		Predicted rank						
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	Accuracy	
A								
B		1				1		
C			14			14		
D			1	13		14		
E								
Total		1	15	13		29	96.55%	
(d)								
case5		Predicted rank						
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	Accuracy	
A								
B		1				1		
C		1	13			14		
D			1	13		14		
E								
Total		2	14	13		29	93.10%	
(e)								
case6		Predicted rank						
Estimated rank	A	B	C	D	E	Total	Accuracy	
A								
B		1				1		
C		1	13			14		
D			4	10		14		
E								
Total		2	17	10		29	82.76%	
(f)								

평가항목(인장균열, 지반변형, 구조물변형, 파괴발생규모, 절리주향과 사면주향과의 차이, 절리경사와 사면경사와의 차이, 절리상태, 사면경사, 강우 및 지하수위, 절취상태, 배수조건, 보호 및 보강상태)과 사면등급의 관계를 정량적으로 분석한 결과, 배수조건을 제외한 모든 평가항목은 사면등급과 매우 높은 연관성이 있는 것으로 해석되었다. 배수조건에 대한 현재의 배점체계에 대해서는 조사자의 주관적인 견해를 배재할 수 있는 방향으로 개선이 이루어져야 한다고 사료된다.

3) 다중회귀분석을 통하여 사면결합지수를 예측할 수 있는 6가지 case의 다중회귀모형을 제시하고 126개소의 사면에서 사면등급을 예측한 결과 case1과 case2는 120개소(95.24%), case3는 118개소(93.65%), case4는 117개소(92.86%), case5는 112개소(88.89%), case6는 105개소(83.88%)에서 사면등급을 정확하게 예측하였다.

4) 연구지역에서 도출된 다중회귀모형을 삼랑진-밀양

에 위치하는 총 29개소의 절취사면에 적용한 결과 case6을 제외한 모든 경우에서 90% 이상의 정확도로 사면등급을 예측하였다.

5) 다중회귀분석 기법은 절취사면의 안정성을 평가하는 방법론으로 유용하게 활용될 수 있다고 생각되며 앞으로 지역적 확대를 통한 후속연구가 더욱 심도 있게 이루어져야 될 것으로 사료된다.

## 사 사

이 연구는 2005년 소방방재청 자연재해방재기술사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

건설교통부(MOCT), 2003, 절토사면 안전점검 및 정밀

- 안전진단 세부지침, 건설교통부 한국시설안전기술공단, 118p.
- 국립방재연구소, 2001, 재해영향평가제 대상사업 및 적용규모 개선방향.
- 박춘식, 장정욱, 엄정기, 옥치남, 이창섭, 류춘길, 2004, 지방도 위험절개지 1차 안전점검조사 학술조사용역보고서(I), 창원대학교 산업기술연구원, 131p.
- 정광모, 최용석, 2002, 범주형 자료분석 개론-SAS의 응용 및 해석, 자유아카데미, 238p.
- 채병근, 김원영, 조용찬, 김경수, 이춘오, 최영섭, 2004, 토석류 산사태 예측을 위한 로지스틱 회귀모형 개발, 지질공학회지, 14(2), pp.211-222.
- 이용희, 김종영, 2004, 로지스틱 회귀분석을 통한 암반사면의 안정성 평가법 제안, 한국암반공학회지, 14(2), pp.133-141.
- 송원경, 이병주, 정용복, 황선근, 2005, 암반사면의 안정성과 지질요소와의 상관관계, 한국지반공학회 사면안정학술발표회, pp.97-106.
- 최경, 1986, 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구, 강원대 박사논문, 42p.
- 한국건설기술연구원, 1989, 사면의 안전진단 및 보호공법, 연구보고서(89-GE 111), pp.181-209.
- 日本道路公團, 1986, 道路土工のり面工斜面安定工指針, 社団法人, 日本道路協會, pp.6-32, pp.423-434.
- Goodman, R.E., 1989, Introduction to rock mechanics-2nd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York, 562p.
- Goodman, R.E. and Shi, G.-H., 1985, Block theory and its application to rock engineering, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 330p.
- Hoek, E., Bray, J., 1988, Rock Slope Engineering, 3rd Ed., Institute of Mining and Metallurgy, London, 358p.
- Wakens, A. T. and Koirala, N. P., 1986. Bulk appraisal of slope in Hong Kong. Landslide proc. 5th Int. Symp. on Landslide, A. A. Balkema, pp.1181-1186.

- Um, J., Hwang, J.Y., Lee H.M., 2004, Engineering Geological and Mineralogical Analyses on Slope Failure Modes of Road Cut at the Cretaceous volcanic rocks of Southeast Korea, proc. 32th Int. geological congress, Florence, Italy, pp.211.

---

2007년 7월 15일 원고접수, 2007년 9월 14일 게재승인

### 강태승

(주)지오이엔지

135-943, 서울시 강남구 일원동 619-1 현대빌딩 5층

Tel: 02-3412-0631

Fax: 02-3412-0633

E-mail: freeculture@nate.com

### 엄정기

부경대학교 환경탐사공학과

608-737, 부산시 남구 대연3동 599-1

Tel: 051-620-6244

Fax: 051-627-2956

E-mail: jum@pknu.ac.kr