

다중회귀분석을 이용한 대규모 비탈면의 위험도 평가

Risk Assessment for Large-scale Slopes Using Multiple Regression Analysis

이 중 건¹ Lee, Jong-Gun

장 범 수² Chang, Buhm-Soo

김 용 수³ Kim, Yong-Soo

석 재 옥⁴ Suk, Jae-Wook

문 준 식⁵ Moon, Joon-Shik

Abstract

In this study, the correlation of evaluation items and safety rating for 104 of large-scale slopes along the general national road was analyzed. And, we proposed the regression model to predict the safety rating using the multiple regressions analysis. As the result, it is shown that the evaluation items of slope angle, rainfall and groundwater have a low correlation with safety rating. Also, the regression model suggested by multiple regression analysis shows high predictive value, and it would be possible to apply if the evaluation items of excavation condition and groundwater (rainfall) are not clear.

요 지

본 연구에서는 일반국도 상에 존재하는 2중 비탈면 104개소에 대해 상태평가 항목과 상태평가 등급의 연관성을 분석하고, 평가항목을 고려한 다중회귀분석을 통해 안전등급을 예측할 수 있는 회귀모형을 제시하였다. 분석결과, 사면경사와 강우 및 지하수의 평가항목은 상태평가 등급과의 연관성이 낮은 것으로 분석되었다. 또한, 다중회귀분석을 통해 제시된 회귀모형은 절취상태, 강우 및 지하수의 항목을 판단하기 어려운 조건에서 활용이 가능한 것으로 판단된다.

Keywords : Large-scale slope, Risk assessment, Chi-square test, Multiple regression analysis

1. 서 론

기후변화의 영향으로 집중강우 및 대형태풍 내습의 빈도가 증가하고 있으며, 강우강도 및 지속강우량 등의 강우특성에 따라 비탈면 재해는 점차 빈도가 증가하고 규모가 대형화되고 있다. 또한, 국내의 최근 10년간 연 강수량이 평년보다 약 10mm 증가하였으며, 2100년까지

약 200mm 이상 증가할 것으로 예상되어(기상청, 2012) 최근의 비탈면 재해특성은 앞으로 더욱 뚜렷해질 것으로 예상된다.

국내에서는 비탈면의 위험도 평가를 위해 각 기관별로 다양한 평가기준을 제시하여 활용하고 있으며(KICT 2002; KISTEC 2004; KEC 2004; NIDP 2009) 객관적인 평가지표 및 기준을 제안하기 위해 다양한 연구가 수행

1 정희원, 한국시설안전공단 시설안전연구소 선임연구원 (Member, Senior Researcher of Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation, Tel: +82-31-910-4292, Fax: +82-31-910-4181, gun5f@kistec.or.kr, Corresponding author, 교신저자)

2 정희원, 한국시설안전공단 시설안전연구소 연구소장 (Member, Director of Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation)

3 정희원, 한국시설안전공단 시설안전연구소 수석연구원 (Member, Senior Researcher of Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation)

4 정희원, 한국시설안전공단 시설안전연구소 연구원 (Member, Researcher of Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation)

5 정희원, 경북대학교 건설환경에너지공학부 교수 (Member, Professor of School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engrg., Kyungpook National Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2014년 5월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

되었다. 특히, Kang과 Um(2007)은 한국시설안전공단에서 제시된 평가법(2004)에 대해 독립성 검정을 실시하여 평가인자와 안전등급의 연관성을 분석하고 다중회귀분석을 통해 예측 회귀모형을 제시하였다. 또한, Chae 등(2004)은 로지스틱회귀분석을 통해 산사태 발생에 대한 확률론적 예측모형을 제시하였으며, LEE와 KIM(2004)은 로지스틱회귀분석을 통해 암반비탈면의 안정성 평가를 예측할 수 있는 확률론적 모델을 제안하였다.

국토교통부에서는 「시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법)」에 따라 일정규모 이상의 시설물을 1·2종 시설물로 지정하여 지속적인 유지관리를 실시하도록 하고 있다. 특히, 비탈면의 경우, 「시특법」에 따라 ‘지면으로부터 연직높이 50미터 이상을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 200미터 이상인 절토사면’은 2종 시설물에 해당되므로 주기적(1~3년)으로 정밀점검을 실시하여야 한다. 정밀점검은 상태평가와 안정성 평가로 구분되며 상태평가 결과와 안정성 평가 결과 중 최저등급이 종합평가 결과(안전등급)로 결정된다(국토해양부, 2010).

2종 비탈면은 식 (1)과 같이 토층심도율(soil depth ratio: SR)에 따라 토사비탈면 및 암반비탈면으로 구분되며, 암반비탈면은 지반강도특성 및 식 (2)의 블록크기비(block size ratio: BR)에 따라 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면, 연약암반비탈면으로 세분된다(국토해양부, 2010). 블록크기비(BR)에서 블록크기지수(block size index: Ib)는 각 절리군에 대한 평균 간격(Si)의 산술평균으로 정의된다.

$$SR = \frac{\text{Soil depth}}{\text{Slope height}} \quad (1)$$

$$BR = \frac{\text{Block size index}(I_b)}{\text{Slope height}(H)}, \quad I_b = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i}{3} \quad (2)$$

이 중 절리암반비탈면의 상태평가는 인장균열(①), 지

반변형(②), 구조물 변형(③), 발생규모(④)의 항목을 포함하는 손상상태 평가와 절리주향(⑤), 절리경사(⑥), 절리상태(⑦), 비탈면 경사(⑧), 강우 및 지하수(⑨), 절취상태(⑩), 배수조건(⑪), 보호/보강상태(⑫)의 항목을 포함하는 파괴요인 평가로 이루어진다(국토해양부, 2010). 손상상태 평가와 파괴요인 평가를 통해 손상상태지수(f1) 및 파괴요인지수(f2)가 결정되며(식 (3), (4)), 식 (5)와 같이 이들의 종합적인 평가로 상태평가 결합지수(F)가 결정된다(국토해양부, 2010)

$$f1 = \frac{\sum(① \sim ④)}{24} \quad (3)$$

$$f2 = \frac{\sum(⑤ \sim ⑫)}{52} \quad (4)$$

$$F = \frac{\sum(① \sim ⑫)}{76} \quad (5)$$

또한, 결합지수(F)에 따라 Table 1과 같이 비탈면의 상태등급이 결정된다(국토해양부, 2010).

평가항목들의 대부분은 육안점검 및 간단한 측정을 통해 평가가 가능하나 일부 평가항목은 자료부족 및 현장여건 등으로 인해 파악하기 힘든 경우가 많다. 평가항목은 대부분 점검자의 주관적인 판단에 따라 결정되어 비탈면의 결합상태가 객관적으로 반영되기에는 제약이 따른다.

본 연구에서는 일반국도 상에 분포하는 2종 비탈면에 대한 정밀점검 결과를 바탕으로 각각의 상태평가 항목과 상태평가 등급의 연관성 유무를 분석하였다. 또한, 다중회귀분석을 통해 상태평가 등급에 미치는 각 상태평가 항목의 영향도를 분석하고 평가항목의 조합에 따라 비탈면의 상태평가 등급을 예측할 수 있는 회귀모형을 제시하였다.

Table 1. Condition rating of cut slope

Condition rating	Defect index (F)	Slope condition
A	0 ≤ F < 0.15	Safety facilities
B	0.15 ≤ F < 0.30	Simple repair & maintenance
C	0.30 ≤ F < 0.55	Prompt reinforcement or replacement of some facilities
D	0.55 ≤ F < 0.75	Urgent reinforcement & judgment needs to be made about whether to limit use
E	0.75 ≤ F	Prohibited use or reconstruction

2. 정밀점검

국토교통부에서는 1997년부터 일반국도 상에 분포하는 비탈면의 체계적인 유지관리를 위해 ‘도로비탈면 유지관리시스템’을 개발하여 운용 중이며, 2012년을 기준으로 일반국도 상에 분포하는 비탈면은 총 29,757개소이다(국토해양부, 2012). 이 중 2종 비탈면은 148개소이며, 본 연구에서는 148개소 중 절리암반비탈면에 해당되는 104개소의 정밀점검 자료를 활용하여 분석을 실시하였다.

Fig. 1은 104개소의 절리암반비탈면에 대한 현황을 보여주고 있다. 비탈면은 경상지역에 가장 많이 분포(40.4%)하고 있으며, 경기지역에는 단 2개소(1.9%)만 위치하고 있다. 이러한 지역별 분포와 달리 비탈면의 구성암종은 화성암(33.7%), 퇴적암(34.6%), 변성암(31.7%)이 거의 균등하게 분포하는 것으로 나타났다. 비탈면의 평균연장은 341m로 연장이 200~300m인 비탈면이 전체의 52%이며 500m 이상의 비탈면은 7.7%에 불과하였다. 비탈면의 평균높이는 63m로 전체의 51%가 50~

60m이며, 높이 70m 이상의 비탈면은 13.5%만 분포하고 있는 것으로 나타났다.

평균 손상상태지수 및 파괴요인지수는 0.19, 0.36이며 평균 결합지수는 0.31로 분석되었다. Fig. 2와 같이 손상상태지수 및 파괴요인지수는 구성암종에 따라 현저한 차이를 보이지는 않으나, 퇴적암으로 구성된 비탈면의 손상상태지수가 화성암 및 변성암으로 구성된 비탈면의 손상상태지수보다 높은 값을 나타냈다. 결합지수에 따른 안전등급은 B등급이 54개소, C등급이 49개소, D등급이 1개소로 산출되어 대부분이 시설물의 안전에는 지장이 없고 일부 경미한 결함이 발생하였거나 간단한 보수가 필요한 상태인 것으로 나타났다(Table 1). 이는 대규모 비탈면의 특성상, 붕괴시 피해도가 높다는 점을 감안한 보수적인 설계 및 신속한 정비에 따른 것으로 판단된다. B등급의 결합지수는 0.171~0.290의 범위를 가지며 평균 결합지수는 0.25로 나타났다. C등급의 결합지수는 0.300~0.530의 범위를 가지며 평균 결합지수는 0.382로 산출되었고, D등급의 결합지수는 0.550로 분석되었다.

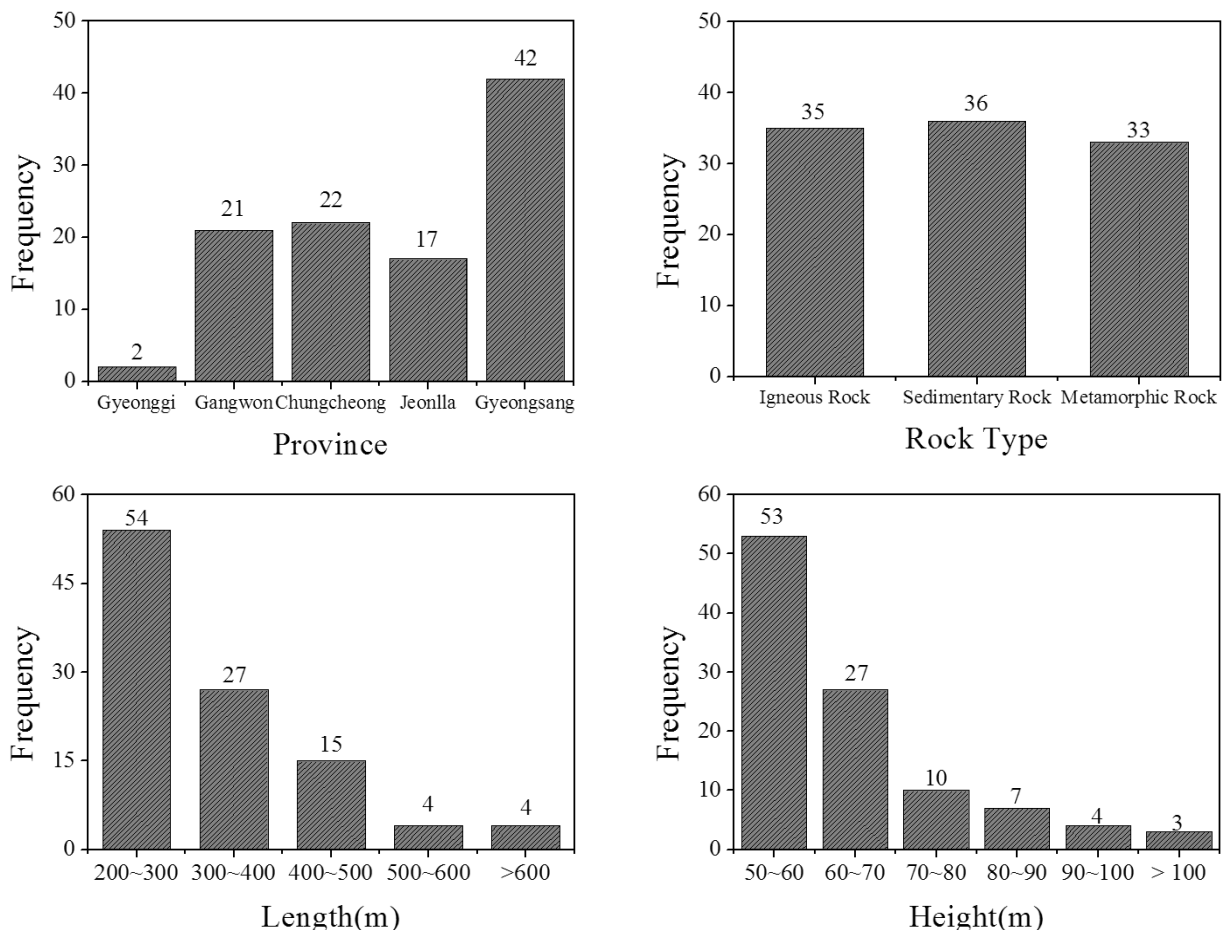


Fig. 1. Status of large-scale slopes

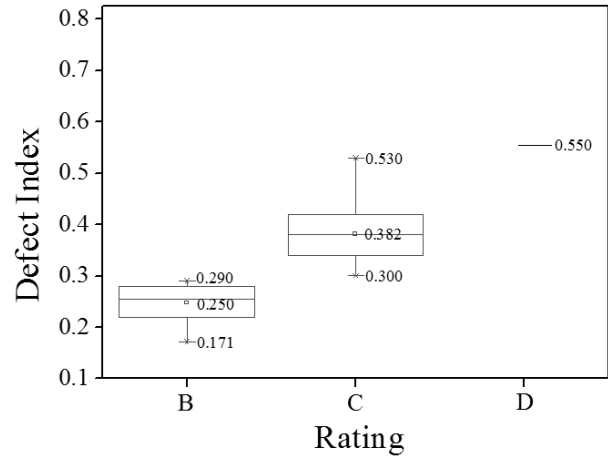
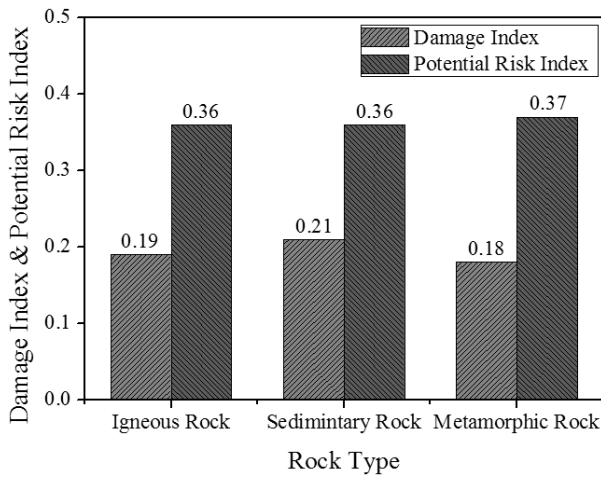


Fig. 2. Inspection result

Table 2. Contingency table for independent variable and dependent variable

Factor (score)	Rating (frequency)					Factor (score)	Rating (frequency)				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
Evaluation of damage condition											
○ Tension crack (V1)						○ Ground deformation (V2)					
None (0)	0	54	44	1	0	None (0~2)	0	52	26	1	0
V1 < 1mm (1~3)	0	0	2	0	0	Occurrence(3~5)	0	2	23	0	0
1mm ≤ V1 < 5mm (4~5)	0	0	2	0	0						
5mm ≤ V1 < 5cm (6~7)	0	0	0	0	0						
5cm ≤ V1 (8~10)	0	0	1	0	0						
○ Structure deformation (V3)						○ Volume of failure (V4)					
None (0~2)	0	47	43	1	0	None (0)	0	12	4	0	0
Occurrence (3~5)	0	7	6	0	0	V4 < 1m³ (1)	0	25	4	0	0
						1m³ ≤ V4 < 8m³ (2)	0	13	26	1	0
						8m³ ≤ V4 < 64m³ (3)	0	4	10	0	0
						64m³ ≤ V4 (4)	0	0	5	0	0
Evaluation of potential risk											
○ Strike of discontinuity (V5)						○ Dip of discontinuity – dip of slope face (V6)					
V5 ≥ 45° (0)	0	27	16	0	0	V6 ≥ 10° (0)	0	22	17	0	0
30° ≤ V5 < 45° (1~2)	0	11	7	0	0	0° < V6 < 10° (1~2)	0	15	3	0	0
20° ≤ V5 < 30° (3~4)	0	8	9	0	0	V6 = 0° (3~4)	0	5	0	0	0
10° ≤ V5 < 20° (5~6)	0	6	8	0	0	-10° ≤ V6 < 0° (5~6)	0	10	5	0	0
10° > V5 (7~8)	0	2	9	1	0	-10° > V6 (7~8)	0	2	24	1	0
○ Discontinuity condition (V7)						○ Slope angle (V8)					
Very favorable(0)	0	0	0	0	0	V8 < 45° (0)	0	2	3	0	0
Favorable (1~2)	0	11	0	0	0	45° ≤ V8 < 55° (1)	0	19	18	0	0
Normal (3~4)	0	39	29	1	0	55° ≤ V8 < 64° (2)	0	27	20	1	0
Unfavorable (5~6)	0	4	20	0	0	64° ≤ V8 < 73° (3)	0	5	7	0	0
Very unfavorable (7~8)	0	0	0	0	0	73° < V8 (4)	0	1	1	0	0
○ Rainfall or groundwater level (V9)						○ Excavation condition (V10)					
V9 = 0mm (0)	0	0	3	0	0	Very good (0)	0	0	0	0	0
0mm ≤ V9 < 50mm (1)	0	38	26	1	0	Good (1~2)	0	30	10	0	0
50mm ≤ V9 < 100mm (2)	0	14	12	0	0	Normal (3~4)	0	23	33	0	0
100mm ≤ V9 < 150mm (3)	0	1	2	0	0	Poor (5~6)	0	1	5	1	0
150mm ≤ V9 (4)	0	1	6	0	0	Very Poor (7~8)	0	0	1	0	0
○ Drainage condition (V11)						○ Condition of counter method (V12)					
Very good (0)	0	0	0	0	0	Satisfactory (0~2)	0	50	38	0	0
Good (1)	0	14	5	0	0	Deterioration (3~5)	0	3	8	1	0
Normal (2)	0	30	21	0	0	Damaged (6~8)	0	1	3	0	0
Poor (3)	0	10	22	0	0						
Very Poor (4)	0	0	1	1	0						

3. 독립성 검정

두 개의 범주형 자료에 대한 독립변수와 종속변수의 연관성 여부는 독립성 검정을 통해 분석이 가능하다. 범주형 자료는 두 개의 범주형 변수(X,Y)를 각각 I, J 수준에서 X를 행으로 Y를 열로 지정해 I×J개의 결합조건을 표현하는 분할표로 구성할 수 있다(정광모와 최용석, 2002). 또한, X의 각 수준에서 Y의 조건부 분포가 동일할 때 두 변수는 통계적으로 독립이라고 하며, 이는 독립변수와 종속변수간에 연관성이 전혀 없다는 것을 의미한다(Kang과 Um, 2007). 독립성 검정에 사용되는 검정통계량은 카이제곱통계량(X^2)으로 식 (6)과 같이 측정되며, 실제 관찰한 빈도수(관찰빈도, O_u)와 각 변수가 서로 독립이라고 가정할 때 확률적으로 계산되는 이론적인 빈도수(기대빈도, E_u)의 차이를 비교해 산출된다.

$$X^2 = \sum_u \frac{(O_u - E_u)^2}{E_u} \quad (6)$$

본 연구에서는 독립변수를 각 평가항목의 점수로, 종속변수를 상태평가 등급으로 설정하였으며 Table 2와 같이 두 변수에 대한 결합조건을 분할표로 나타내었다. 또한, SPSS 통계패키지를 사용하여 카이제곱(X^2) 통계량과 통계량에 대한 유의확률(p-value)을 산출하여 독립성 검정을 실시하였다.

평가항목과 상태평가 등급에 대한 독립성 검정 결과를 Table 3에 나타내었다. 각 평가항목에 대해 산정된 카이제곱통계량(X^2)의 유의확률(p-value)이 0.05이상이면, 독립변수와 종속변수가 통계적으로 독립이라는 귀

무가설을 강하게 채택하게 되므로 두 변수의 연관성은 낮은 것으로 볼 수 있다. 반면, 유의확률(p-value)이 0.05 미만일 경우, 독립변수와 종속변수는 독립성이 결여되어 연관성이 높다는 것을 의미한다. 따라서, 카이제곱통계량(X^2)의 유의확률(p-value)에 따라 ‘사면경사’와 ‘강우 및 지하수’를 제외한 10개의 평가항목은 비탈면의 상태평가 등급과 연관성이 높은 것으로 분석되었다. 사면경사는 104개소 중, 85개소(81.7%)가 45~64°의 범위에 분포하고 있으며 64°이상인 비탈면은 14개소(13.5%)에 불과하다. 또한, Table 2와 같이 사면경사의 변화에 따라 상태평가 등급의 변화가 뚜렷하지 않아 통계적으로 연관성이 낮은 것으로 판단된다. 강우 및 지하수의 평가항목 또한 1일 최대강우량이 0~100mm인 범위에 91개소(87.5%)가 분포하고 있으며, 강우량의 변화에 따른 상태평가 등급의 변화가 뚜렷하지 않다. 강우 및 지하수는 각 비탈면의 지하수위 또는 1일 강우량으로 평가되나, 설계자료를 확인하기 어려운 경우가 많으므로 대부분 1일 강우량을 기준으로 평가를 하게 된다. 하지만, 1일 강우량 산출시 당해연도 최대 일강우량 또는 평년 최대 일강우량 등과 같은 적용기준이 명확하지 않아 평가항목에 대한 주관적 판단의 의존도가 높기 때문에 상태평가 등급에 미치는 영향이 낮은 것으로 사료된다.

4. 다중회귀분석

다중회귀분석은 두 개 이상의 독립변수와 종속변수 간의 선형적인 관계를 설명하는 통계적 기법으로, 산출된 결정계수(R^2)로 회귀모형의 적합정도를 측정할 수 있으며 t-통계량 및 F값을 토대로 개별회귀계수와 회귀모

Table 3. Result of independence test

Independent variable	X^2	Degree of freedom	p-value
Tension crack (V1)	56.290	8	<0.0001
Ground deformation (V2)	39.329	12	<0.0001
Structure deformation (V3)	21.545	10	0.018
Volume of failure (V4)	33.541	8	<0.0001
Strike of discontinuity (V5)	29.358	18	0.044
Dip of discontinuity – dip of slope face (V6)	47.815	18	<0.0001
Discontinuity condition (V7)	28.749	10	0.001
Slope angle (V8)	4.807	10	0.904
Rainfall or groundwater level (V9)	10.786	8	0.214
Excavation condition (V10)	23.703	10	0.008
Drainage condition (V11)	36.591	6	<0.0001
Condition of counter method (V12)	32.285	12	0.001

형에 대한 유의성을 각각 검정할 수 있다(강태승, 2006).

본 연구에서는 독립성 검정에서 연관성이 낮은 것으로 분석된 ‘사면경사’와 ‘강우 및 지하수’를 제외한 10개의 평가항목을 독립변수로 설정하고, 상태평가에 따른 결함지수를 종속변수로 설정하여 다중회귀분석을 실시하였다. 또한, 서론에서 언급한 바와 같이 평가항목 중 자료부족 및 현장여건 등으로 객관적인 판단이 어려운 항목을 제외한 경우에 대해서도 분석을 실시하여 (Table 4) 정밀점검을 통한 결함지수와 예측된 결함지수를 비교·분석하였다. Case 2는 case 1의 독립변수에서 ‘절취상태’를 제외한 경우이며, case 3는 case1의 독립변수에서 인공구조물과 관련된 평가항목인 ‘구조물 결합’, ‘배수조건’, ‘보호/보강상태’를 제외한 경우이다.

분석결과, Table 5와 같이 case별 결정계수(R^2)는 각각 0.949, 0.924, 0.844로 산출되어 모든 case에서 회귀

모형은 높은 설명력을 보이고 있다. 또한, case별 독립변수에 대한 t-통계량의 유의확률(t_p) 및 전체 회귀모형에 대한 F값의 유의확률(F_p -value)이 모두 0.05보다 작으므로 각각의 독립변수 및 전체회귀모형은 유의하다고 판단할 수 있다. 분석결과에 따라, 비탈면의 상태등급 예측을 위한 예측결함지수(Predicted defect index: PDI) 회귀모형식을 Table 6에 나타내었다.

Fig. 3과 같이, case 1에 따라 산출된 예측결함지수는 B등급의 경우 0.164~0.298, C등급의 경우 0.301~0.545의 범위를 가지며 104개소 중 98개소(94.2%)에 대한 상태평가 등급을 예측하였다. Case 2에 따라 산출된 예측결함지수는 A등급의 경우 1개소로 0.148이며 B등급의 경우 0.189~0.299, C등급의 경우 0.304~0.536의 범위를 가지고 96개소(92.3%)에 대한 상태평가 등급을 예측하였다.

Table 4. Applied variables in each case

Case \ Variables	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V10	V11	V12
CASE 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CASE 2	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○
CASE 3	○	○	-	○	○	○	○	○	-	-

Table 5. Result of multiple regression analysis

Variables	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	Coefficients	t-value (t_p)	Coefficients	t-value (t_p)	Coefficients	t-value (t_p)
Constant	0.043	5.087 (<0.0001)	0.051	4.955 (<0.0001)	0.079	6.008 (<0.0001)
V1	0.011	5.647 (<0.0001)	0.012	5.087 (<0.0001)	0.008	2.202 (0.03)
V2	0.016	8.477 (<0.0001)	0.017	7.274 (<0.0001)	0.017	5.098 (<0.0001)
V3	0.017	8.658 (<0.0001)	0.019	7.955 (<0.0001)	-	-
V4	0.013	5.946 (<0.0001)	0.015	5.749 (<0.0001)	0.012	3.304 (0.001)
V5	0.012	15.154 (<0.0001)	0.012	12.752 (<0.0001)	0.012	8.474 (<0.0001)
V6	0.012	17.280 (<0.0001)	0.011	13.174 (<0.0001)	0.013	11.208 (<0.0001)
V7	0.011	5.660 (<0.0001)	0.014	5.751 (<0.0001)	0.011	3.303 (0.001)
V10	0.014	6.716 (<0.0001)	-	-	0.027	8.600 (<0.0001)
V11	0.015	4.890 (<0.0001)	0.023	6.631 (<0.0001)	-	-
V12	0.011	5.785 (<0.0001)	0.013	5.901 (<0.0001)	-	-
R^2	0.949		0.924		0.844	
F-value	171.874		126.576		73.956	
F_p -value	<0.0001		<0.0001		<0.0001	

Table 6. Regression model formula for each case

Case	Regression model formula
CASE 1	$PDI = 0.043 + 0.011V1 + 0.016V2 + 0.017V3 + 0.013V4 + 0.012V5 + 0.012V6 + 0.011V7 + 0.014V10 + 0.015V11 + 0.011V12$
CASE 2	$PDI = 0.051 + 0.012V1 + 0.017V2 + 0.019V3 + 0.015V4 + 0.012V5 + 0.011V6 + 0.014V7 + 0.023V11 + 0.013V12$
CASE 3	$PDI = 0.079 + 0.008V1 + 0.017V2 + 0.012V4 + 0.012V5 + 0.013V6 + 0.011V7 + 0.027V10$

Case 2는 case 1의 독립변수에서 ‘절취상태’를 제외한 경우이다. Case 2의 예측률이 92.3%로 높은 것은 ‘절취상태’의 평가항목이 상대적으로 변별력이 낮음을 의미한다. 이는 ‘절취상태’가 선균열발파, 제어발파, 기계굴착, 일반발파, 불완전발파 등의 굴착방법에 따라 평가되는 항목으로 설계자료가 보존되어 있지 않거나 기존자료를 통해 확인이 불가능한 경우가 많아 객관적인 평가가 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

Case 3에 따라 산출된 예측결합지수는 B등급의 경우 0.171~0.293, C등급의 경우 0.303~0.505의 범위를 가지며 case 2와 마찬가지로 96개소(92.3%)에 대한 상태평가 등급을 예측하였다. Case 3는 case 1의 독립변수에서 ‘구조물 변형’, ‘배수조건’, ‘보호/보강상태’를 제외한 경우이다. Case 2와 마찬가지로 case 3의 예측률도 92.3%로 나타났다. 이는 ‘구조물 변형’, ‘배수조건’, ‘보호/보강상태’ 또한 상태평가 결합지수 산출에 미치는 영향도가 낮음을 의미한다. Case 3에서 제외된 변수들은 비탈

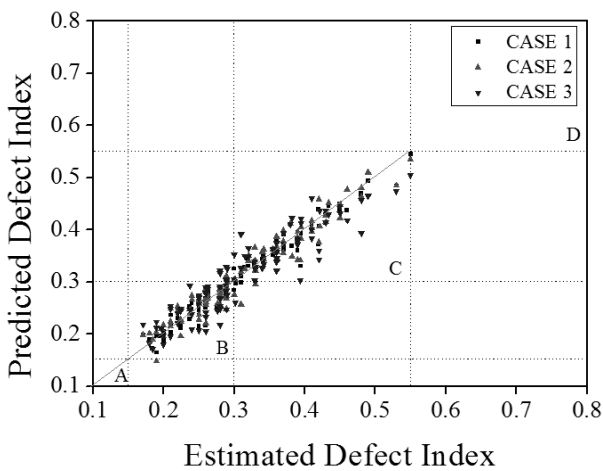


Fig. 3. Distribution of predicted defect index in each case

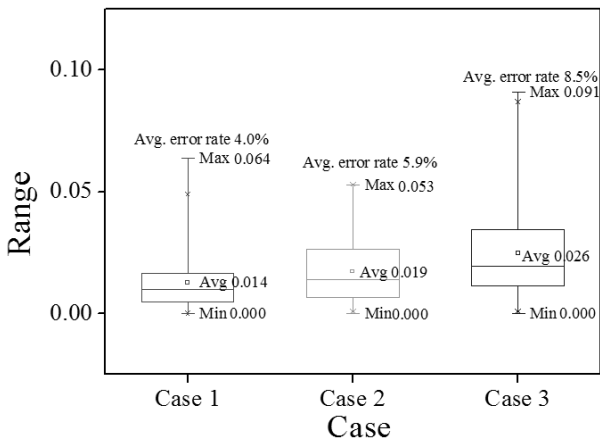


Fig. 4. Distribution of error range in each case

면에 설치된 인공구조물에 대한 평가항목으로써, 이들의 변별력이 낮은 것은 록볼트 및 앵커 등의 보강공이 지중에 설치되어 있거나 낙석방지울타리 및 돌붙임공 등의 보호공이 식생으로 덮여있어 점검자의 주관적인 견해에 의존도가 높기 때문인 것으로 판단된다.

상기의 분석 결과에서, case 1, case 2, case 3에 따라 예측된 상태평가 등급은 각각 98, 96, 96개소로 통계적으로 유의미한 차이라고 보기에는 어려움이 있다. 하지만, 이는 case 2와 case 3에서 동일한 독립변수를 제외한 것이 아니라 case에 따라 적용된 독립변수의 영향도를 평가하기 위해 각기 다른 독립변수를 제외하여 분석을 실시한 것이다. 따라서 2종 절리암반비탈면에 대한 점검 시, 설계자료가 보존되어 있지 않아 굴착방법을 판단하기 어려운 경우에는 본 연구의 case 2에 따른 회귀모형식을 활용할 수 있을 것이다. 또한, 현장에서 보호공 및 보강공 등 인공구조물의 상태를 파악하기 힘든 경우에는 본 연구의 case 3에 따라 도출된 회귀모형을 활용하여 상태평가 등급을 예측할 수 있을 것이다.

단, Fig. 3과 같이 case에 따라 오차의 최대값은 감소할 수 있으나(case 2) 다중회귀분석의 특성상 독립변수가 줄어들수록 예측된 결합지수의 평균 오차율이 증가하므로, 이를 고려하여 활용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 일반국도 상에 분포하는 104개소의 2종 비탈면 점검자료를 바탕으로, 평가항목과 상태평가 등급간의 연관성을 분석하고 다중회귀분석을 통해 상태평가 등급을 예측할 수 있는 통계적 회귀모형을 제안하였다. 분석결과는 다음과 같다.

- (1) 일반국도 상에 분포하는 2종 비탈면의 평균 손상상태지수 및 파괴요인지수는 각각 0.19, 0.36이며 평균 결합지수는 0.31로 분석되었다. 결합지수에 따른 안전등급은 B등급이 54개소, C등급이 49개소, D등급이 1개소이며 구성암종에 따른 손상상태지수 및 파괴요인지수의 차이는 뚜렷하지 않은 것으로 조사되었다.
- (2) 12개의 평가항목과 안전등급의 연관성을 분석한 결과, ‘사면경사’ 및 ‘강우 및 지하수’를 제외한 10개 항목은 상태평가 등급과 연관성이 높은 것으로 나

타났다. ‘사면경사’ 및 ‘강우 및 지하수’항목은 2종 비탈면의 특성상 변별력이 없거나 평가기준이 모호한 것으로 판단되므로 객관적인 평가를 위해 개선이 필요한 것으로 사료된다.

- (3) 다중회귀분석을 통해 제시된 회귀모형은 case 1에서 98개소(94.2%), case 2에서 96개소(92.3%), case 3에서 96개소(92.3%)의 상태등급을 예측하여 예측률이 높은 것으로 분석되었다. Case 1 및 2의 예측률이 높은 것은 ‘절취상태’, ‘구조물 변형’, ‘배수조건’, ‘보호/보강상태’의 항목이 객관적 평가가 어려워 대부분 중간범위의 값으로 평가되므로 상태평가 등급에 미치는 영향이 낮기 때문인 것으로 판단된다.
- (4) 본 연구는 일반국도 상에 분포하는 비탈면을 대상으로 하였으므로 적용범위를 2종 비탈면 전체로 확대하기 위해서는 다양한 목적으로 건설된 2종 비탈면에 대한 추가연구가 필요하며, 연관성이 낮은 것으로 분석된 평가항목에 대해서도 객관적인 평가가 이루어질 수 있도록 추가검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부에서 운영중인 ‘도로비탈면 유지관리시스템’의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌 (References)

1. Chae, B. G., Kim, W. Y., Cho, Y. C., Kim, K. S., Lee, C. O., and Choi, Y. S. (2004), “Development of a Logistic Regression Model for Probabilistic Prediction of Debris Flow”, Journal of Korean Society of Engineering Geology, Vol.14, No.2, pp.211-222.
2. Jung, G. M. and Choi, Y. S. (2002), Introduction for Categorical Data Analysis, Jayouacademy, pp.238. (In Korean) 정광모, 최용석 (2002), 범주형 자료분석 개론-SAS의 응용 및 해석, 자유아카데미, pp.238.
3. Kang, T. S. (2006), Statistical Analysis on Slope Instability Parameters in Risk Assessment, M.D Thesis, Pukyong National University, pp.53-75.
4. Kang, T. S. and Um, J. G. (2007), “Risk Assessment of the Road Cut Slopes in Gyeongnam based on Multiple Regression Analysis”, Journal of Korean Society of Engineering Geology, Vol.17, No.3, pp.393-404.
5. Korea Expressway Corporation (KEC) (2004), Development of Cut Slope Maintenance System on the Highway.
6. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC) (2004), Cut Slope Maintenance Manual.
7. Korea Institute of Construction Technology (KICT) (2002), Development and Operation of Cut Slope Management System.
8. Korea Meteorological Administration (2012), Forecast Report for Climate Change in Korea, pp.70-81. (In Korean) 기상청 (2012), 한반도 기후변화 전망보고서, pp.70-81.
9. Lee, Y. H. and Kim, J. Y. (2004), “A Proposal of the Evaluation Method for Rock Slope Stability Using Logistic Regression Analysis”, Journal of Korean Society of Rock Mechanics, Vol.12, No.2, pp. 133-141.
10. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), Standard for Safety Inspection and Precision Safety Inspection, pp.12-1-52. (In Korean) 국토해양부 (2010), 안전점검 및 정밀안전진단 세부 지침, pp.12-1-52.
11. Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs (2012), Operation of Road Cut Slope Management System in 2012, pp.13-18.
12. National Institute for Disaster Prevention (NIDP) (2009), A Study on the Field Survey System Development for Steep Slope.

Received : August 13th, 2013

Revised : October 7th, 2013

Accepted : November 14th, 2013