

로지스틱 회귀분석을 통한 암반사면의 안정성 평가법 제안

이용희^{1)*}, 김종열²⁾

A Proposal of the Evaluation Method for Rock Slope Stability Using Logistic Regression Analysis

Yong-Hee Lee and Jong-Ryeol Kim

Abstract Through the many site investigations, different methods for evaluating stability of rock slopes have been proposed. Those methods, however, may lead to different results depending on the subjective judgments associated with the selection of the evaluation items and the application of weighting factor. Accordingly, binary logistic regression analysis was carried out to ensure fair application of the weighting factor, leading to an equation for evaluating the stability of rock slopes.

KeyWords Rock slope, Stability evaluation method, Weighting factor, Logistic regression analysis

초록 현장조사를 통해 암반사면의 안정성을 평가하기 위해서 여러 연구자들에 의해 평가법이 제안되었다. 그러나 기존의 평가법들은 제안자의 주관적 판단에 의해 평가항목의 선정과 가중치가 달리 적용되고 있어 평가법에 따라 안정성 평가결과도 서로 상이하게 나타나고 있다. 따라서 각 평가항목에 대한 가중치의 객관성을 확보하기 위해 로지스틱 회귀분석을 실시하여 안정성 평가법을 제안하였다.

핵심어 암반사면, 안정성 평가법, 가중치, 로지스틱 회귀분석

1. 서 론

산업의 발달과 국토개발로 인해 전국토의 약 70%가 산지로 이루어진 우리나라는 국토의 균형적인 발전의 일환으로 고속도로, 철도, 턱지개발 등이 이루어지고 있으며, 이로 인해 많은 수의 절토사면이 형성되고 동시에 인적·물적 피해를 발생시키는 사면붕괴가 매해 상당 수 발생하고 있다. 사면의 붕괴를 예측하고 사전에 막기 위해서는 객관적이면서 간단한 안정성 평가법이 요구되며, 따라서 암반사면의 안정성 평가법은 여러 제안자들에 의해 각각의 목적에 맞도록 제안되고 또한 수정되어 왔다(Mainalee, 1999, 한국건설기술연구원, 2003, 유병옥, 1998, 일본건설성, 1986). Mainalee(1999)는 사면붕괴에 대한 가장 단순화된 평가법을 제안하였는데 평가항목으로 암종, 사면경사, 사면높이, 지하수, 식생상태 등을 사용하였다. 일본 건설

성(1986)의 사면안정성 평가법에서는 사면높이, 사면경사, 용수상황, 자연사면상황, 토질구분, 암종, 암분류, 균열상황, 식생상황 및 보호공의 평가항목을 선정하여 각 항목에 대하여 적용하고 있다. 그리고 유병옥(1998)은 사면높이, 사면경사, 절리방향, 절리경사, 풍화정도, 암석종류, 균열상태, 단층유무, 암석강도, 특수지질, 용수유무, 토질조건, 절리상태, 집수지형, 사면형상, 상부경사, 붕괴이력 및 사면보호공의 14가지 평가항목을 선정하여 안정성 평가법을 제안하였다. 이처럼 여러 연구자들이 제안한 평가법에는 공통적으로 암종, 사면경사, 사면높이, 지하수, 식생상태, 충전물 등의 평가항목을 포함하고 있으며, 본 연구에서는 여러 연구자들이 공통적으로 선정한 요인을 중심으로 지체구조구의 항목을 추가로 선정하여 로지스틱 회귀분석법을 통해 보다 객관적이면서 현장조사를 통하여 간편하게 암반사면의 안정성을 평가할 수 있는 방법을 제안하였다.

2. 고속도로 절토사면 현황

현재 한국도로공사에서 관리하고 있는 고속도로는

¹⁾ 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사수료

²⁾ 정회원, 전남대학교 토목공학과 부교수

*교신저자(Corresponding Author): dragon202@hanmail.net

접수일: 2004년 3월 17일

심사 완료일: 2004년 4월 3일

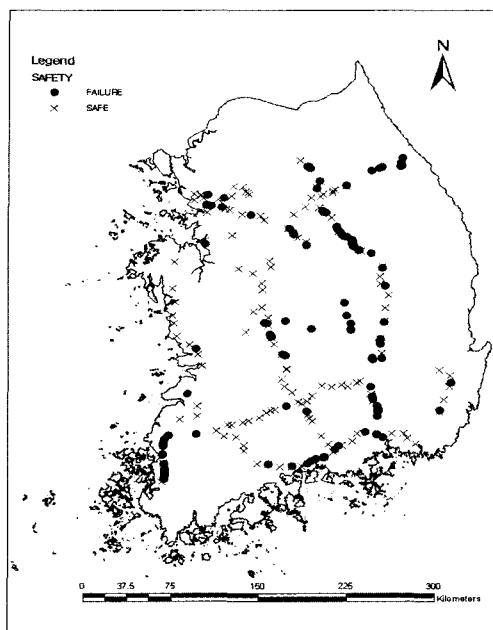


Fig. 1. Distribution of investigated rock slope

2002년말 기준, 23개노선 총연장 2,660 km에 달한다 (한국도로공사, 2002). 표 1은 국내고속도로의 연장 구간 및 각 고속도로 절토사면의 수를 나타내고 있다. 현재 고속도로상에 존재하고 있는 절토사면의 수는 약 4,150여 개소이며, 이중 중앙고속도로의 절토사면의 수가 864개소로 가장 많고, 평균 사면높이는 대전남부순환도로가 33.6 m로 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 사면연장에 있어서는 중앙고속도로가 580 m/km로 가장 긴 것으로 나타났으며, 이 수치는 중앙고속도로연장의 약 30%에 해당된다. 본 연구에서는 이처럼 고속도로상에 존재하고 있는 사면중에서 안정한 사면 137개소, 붕괴사면 177개소를 선정하고, 분석하여 안정성 평가법 개발에 이용하였다. 그림 1은 조사대상 암반사면의 분포도이다.

3. 안정성 평가항목의 선정 및 가중치적용의 문제점

흔히 기존의 암반사면 안정성 평가법을 이용한 평가 결과가 서로 상이하게 나오는 이유는 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 암반사면안정성 평가에 사용되는 평

Table 1. Distribution of korea highway(Korea Highway Corporation, 2003)

노선 번호	노 선 명	연장 (km)	구간	평균 사면고(m)	사면연장 (m/km)	절토 사면수
1	경부선	425.5	부산~서울	12.2	169	307
15	서해안선	340	목포~서울	16.7	397	525
25	호남선, 논산~천안선	195.81	순천~천안	12.7	374	243
251	호남선의 지선	54	논산~대전	17.4	334	69
35	중부선	286	통영~하남	18.9	494	601
37	제2중부선	31	이천~하남	21.5	220	33
45	중부내륙선	126	마산~양평	22.1	413	223
451	구마선	30	현풍~대구	21.9	146	18
55	중앙선	289	부산~춘천	20.5	580	864
551	중앙선의 지선	8.2	김해~양산	6.3	69	3
65	동해선	62	동해~속초	17.0	392	119
10	남해선	169	영암~부산	19.1	216	171
102	마산외곽선	16	합~창원	17.8	440	35
104	남해제2지선	21	김해~부산	28.5	328	12
12	88올림픽선	183	무안~대구	15.4	342	332
16	울산선	14	울산~울산	9.7	208	16
20	익산~포항선	3	익산~포항	28.5	513	2
40	평택~충주선	25.8	평택~충주	14.3	567	71
50	영동선	234	인천~강릉	21.1	360	334
100	서울외곽순환선	91	판교~판교	25.1	272	109
110	제2경인선	27	인천~안양	21.5	398	39
120	경인선	23.9	인천~서울	15.0	51	4
130	인천국제공항선	40.2	인천~고양	-	-	-
300	대전남부순환선	13	대전~대전	33.6	450	24

가중목이 다르기 때문이고, 둘째는 각 평가항목에 대한 가중치가 서로 상이하기 때문이다.

암반사면안정성 각 평가 항목에 대한 가중치에 대해서는 연구자들마다 매우 상이하게 가중치를 적용하고 있다.

일반적으로 가중치의 산정은 다음과 같이 최소한 3개의 방법이 있다(Yusef, 1999).

(1) blind weighting

상대적인 중요도가 안정성 평가의 경험을 통한 개인적인 경험과 판단에 의해 결정된다.

(2) sighted weighting

붕괴항목과 그 하부항목들의 가중치의 정확도를 향상시키기 위해 사면 붕괴로부터 얻은 정보가 사용된다.

(3) post weighting

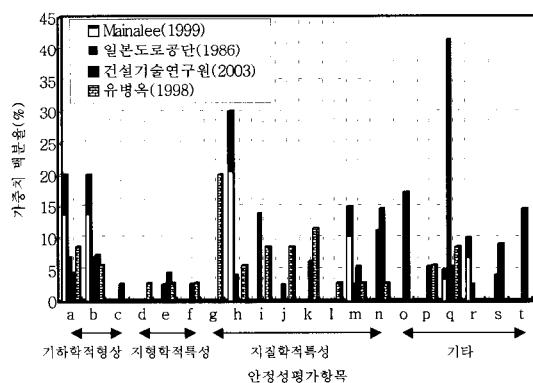
본질적으로는 sighted weighting과 같지만, 사면붕괴에 테스트를 실시하여 나온 결과를 사용한다는 점이 다르다.

지금까지의 사면안정성 평가법은 blind weighting과

sighted weighting의 혼합된 형태로 제안된 경우가 대부분이고, 가중치를 산정하는 기준이 사면붕괴로부터 얻은 자료를 바탕으로 최종적으로는 개인적인 경험과 판단에 의해 결정된 경우가 대부분이다.

표 2는 각 안정성 평가방법별 평가항목들을 기하학적 형상, 지형학적 특성, 지질학적 특성 및 기타의 크게 네 가지 범주로 구분하여 가중치를 계산한 결과이다. 표에 나타낸 결과처럼 안정성 평가방법에 따라 각 범주에 해당하는 가중치가 매우 상이하게 나타나고 있으며, 이는 결과적으로 동일한 사면의 안정성 평가결과가 서로 상이한 결과를 야기한다.

그림 2는 안정성 평가방법별 각 평가항목과 가중치



평가항목 기호의 설명

a : 사면높이, b : 사면경사, c : 사면길이, d : 집수지형, e : 사면형상, f : 사면상부경사, g : 주절리면의 경사 및 경사 방향, h : 암분류 또는 풍화도, i : 암종, j : 파쇄정도, k : 단층 및 충전물, l : 암석강도, m : 용수 또는 지하수, n : 토질 및 토층심도, o : RMR, p : 붕괴이력, q : 사면보호공, r : 식생상태, s : 주관적판단, t : 안정해석 및 기타

Fig. 2. Comparisons of the weighting factor by evaluation items

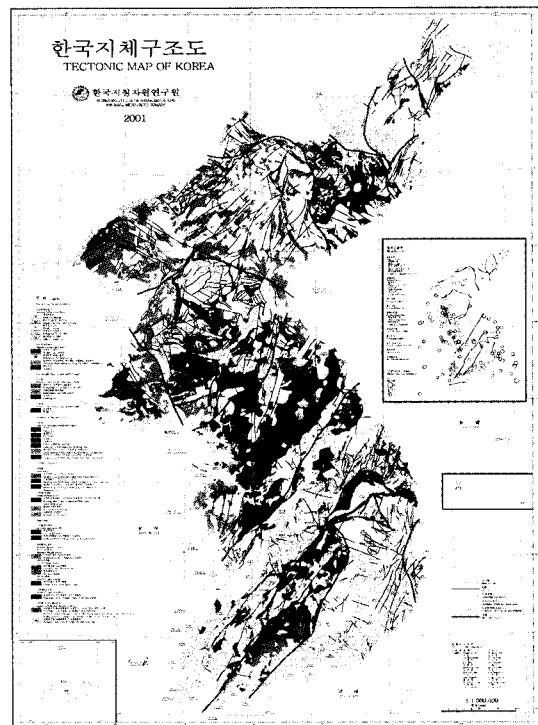


Fig. 3. Tectonic map of korea(KIGAM, 2001)

Table 2. Comparisons of the weighting factor by four common category

안정성평가항목	Mainalee	일본도로공단	건설기술연구원	유병옥
기하학적 형상	40%	13.8%	14.5%	14.3%
지형학적 특성	-	2.8%	7.2%	8.7%
지질학적 특성	45%	34.8%	26.4%	63%
기타(사면보호공, RMR, 안정해석 등)	15%	48.7%	51.9%	14.3%

비교를 나타낸 그림으로 각 평가항목별로 가중치와 항목에 있어서 차이를 보이고 있다. 그러나 다행히도 각각 다른 가중치를 적용하고 있긴 하지만, 각 안정성 평가법에서 거의 공통적으로 위에서 언급한 크게 네 가지의 범주는 여러 연구자들의 공통적인 고려대상이 되고 있다.

기존의 제안자들에 의해 중복 선정된 사면붕괴요인을 중심으로 경향성을 조사한 뒤, 조사결과에서 밝혀진 국내 지질학적 특성중의 하나인 지체 구조구(tectonic province)(Fig. 3)를 붕괴요인으로 추가하여 사면경사, 주절리면과 사면의 방향차이의 절대값, 사면높이, 강수량, 암종, 풍화도, 파쇄정도, 단층, 충전물, 지하수, 사면상부경사, 식생상태의 13가지 요인을 선정하여 안정성 평가의 입력변수로 이용하였다.

4. 로지스틱 회귀분석의 이론

4.1 로지스틱 회귀모형의 정의

이항반응이란 각 대상의 반응을 ‘성공’과 ‘실패’로 측정하는 것으로서 이항반응 Y와 양적 설명변수 X에 대해 $\pi(x)$ 를 $X=x$ 일 때 ‘성공’ 확률이라 하고 확률 $\pi(x)$ 는 이항분포의 모수라 한다(정광모, 1999). 로지스틱 회귀모형은 $\pi(x)$ 의 로짓(logit)에 대해 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\text{logit} [\pi(x)] = \log \left(\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} \right) = \alpha + \beta x \quad (1)$$

또한 로지스틱 회귀식을 변형하여 아래 식 (2)와 같은 다른 형태의 공식에 의해 성공확률을 직접 나타낼 수 있다.

$$\pi(x) = \frac{\exp(\alpha + \beta x)}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} \quad (2)$$

로지스틱 회귀에서 모수 β 는 S-곡선의 증가 또는 감소율을 결정한다. β 의 부호는 곡선의 증가 또는 감소를 나타내며 곡선의 변화율은 $|\beta|$ 가 증가함에 따라 증가한다. $\beta=0$ 이면 우변항은 상수가 되므로 $\pi(x)$ 는 모든 x 값에 대해 같다. 이 때 곡선은 x 축에 평행인 직선이 되며, 이항반응 Y는 X와 독립이다. 모수 β 를 갖는 로지스틱회귀의 경우 접선의 기울기는 $\beta\pi(x)[1-\pi(x)]$ 이며 확률이 1.0 또는 0에 근접할수록 기울기는 0에 근접하게 된다.

로지스틱 회귀모형에서 그 의미를 해석하는데 가장 간단한 모형은 선형확률모형으로서 $\pi(x) = \alpha + \beta x$ 이다. 보통 최소제곱추정에 의하여 α, β 가 결정되며, $Y=1$ 일

때의 예측확률은 식 (3)과 같고 $\beta>0$ 인 경우 x 값이 클수록 예측확률 $\hat{\pi}(x)$ 가 커진다.

$$\hat{\pi}(x) = \frac{\exp(\alpha + \beta x)}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} \quad (3)$$

로지스틱회귀의 또 다른 해석방법으로는 오즈와 오즈비를 이용할 수 있다. 반응 1(성공)의 오즈는 아래 식 (4)와 같다.

$$\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)} = \exp(\alpha + \beta x) = e^{\alpha}(e^{\beta})^x \quad (4)$$

위의 식 (4)로부터 x 가 1단위 증가함에 따라 오즈는 e^{β} 배만큼씩 곱해져서 증가하며 $x+1$ 에서의 오즈는 x 에서의 오즈에 e^{β} 를 곱하여 구해진다. 특히 $\beta=0$ 일 때는 $e^{\beta}=1$ 로 일정하므로 x 의 변화와 관계가 없다.

로그오즈는 $\pi(x)$ 의 로짓변환이 되며 $\text{logit} [\pi(x)] = \alpha + \beta x$ 이 성립한다. 이 경우에는 x 가 1단위 증가할 때마다 로짓은 β 만큼씩 증가한다. 또한 로지스틱회귀의 적합을 통해 이항반응에 미치는 예측변수의 효과를 설명할 수 있는데, 이는 모수에 대한 통계적 추론을 제시하고 효과의 유의성 및 효과의 크기를 판단하는데 이용된다. 이항반응에 미치는 X의 효과에 관한 유의성 검정은 로지스틱회귀에서 귀무가설 $H_0: \beta=0$ 은 성공확률이 X에 무관함을 말한다. 대표본일때 검정통계량은 식 (5)와 같고, $\beta=0$ 이면 표준정규분포를 따른다. 여기서, ASE(Asymptotic Standard Error)는 점근표준오차를 의미한다.

$$z = \frac{\beta}{\text{ASE}} \quad (5)$$

또한 $\beta \neq 0$ 인 양측가설일 때는 이와 동치인 $(\hat{\beta}/\text{ASE})^2$ 은 왈드통계량이 되고 대표본일 때 자유도 1인 카이제곱분포를 갖는다. $H_0: \beta=0$ 일 때 최대로그우도를 L_0 , β 에 대한 무제한의 가정하에서 구해진 최대로그우도를 L_1 이라 할 때, 우도비검정통계량 $-2(L_0 - L_1)$ 은 표본크기가 큰 경우 H_0 하에서 자유도 1인 카이제곱 근사분포를 따른다.

4.2 효과에 대한 신뢰구간

로지스틱회귀모형 $\text{logit} [\pi(x)] = \alpha + \beta x$ 에서 모수 β 에 대한 대표본 신뢰구간은

$\hat{\beta} \pm z_{\alpha/2}(\text{ASE})$ 이다. 구간 양 끝점을 지수 변환하면 오즈의 증가배율인 e^{β} 의 신뢰구간을 얻게 되며 신뢰구간은 $(e^{\hat{\beta}-z_{\alpha/2}(\text{ASE})}, e^{\hat{\beta}+z_{\alpha/2}(\text{ASE})})$ 이다.

4.3 모형검토

로지스틱회귀를 이용하여 이항반응에 대한 예측인자의 효과를 설명하는 것뿐만 아니라 모형이 적절한지 자료에 잘 적합되는지에 대해 살펴보는 것 또한 중요하다. 설명변수의 각 값에서 예측도수는 사례수에 예측확률을 곱해서 구해지고, 유사한 방법으로 $Y=0$ 에서의 예측도수를 구할 수 있다. 본 연구에서는 피어슨 χ^2 검정, 우도비검정 그리고 Hosmer-Lemeshow 검정을 통해 가설검정을 실시하였다.

5. 로지스틱 회귀분석법을 이용한 암반사면 안정성 평가법 제안

5.1 회귀모형의 적합성 검정

본 연구는 SPSS(ver.11.0) 프로그램을 이용하여 로지스

틱 회귀분석을 실시하였으며, 표 3은 Hosmer-Lemeshow 검정결과를 나타낸 표이다. 표 3 (a)는 Hosmer-Lemeshow 검정결과를 나타낸 표로서 최종적으로 12단계에 진입한 변수는 파쇄정도, 충전물, 단층, 사면높이, 사면경사, 강수량, 지하수, 암종, 풍화도, 상부경사, 주절리면과 사면의 방향차이, 지체구조구의 12개이며, 적합도 검정결과에서는 유의확률의 값이 0.05보다 커야 모형이 적합하다고 하는 귀무가설을 채택하고 있으며, 각 단계에서의 유의확률은 모두 0.05이상이고 최종 12단계에서는 유의확률이 0.966($> \alpha = 0.05$)으로서 진입한 변수들과 사면붕괴유무의 관계를 나타내는 모형은 적합하다고 결론지을 수 있다. 표 3 (b) Hosmer-Lemeshow 검정에 대한 분할표를 나타낸 결과이며, 집단의 개수는 10개로 나누어 검정을 실시하였다. 여기서는 최종 12단계에서의 결과만을 나타내었으며, 표에 나타낸 바와 같이 적

Table 3. Hosmer-Lemeshow test and contingency table

(a) Hosmer-Lemeshow test

단계	카이제곱	자유도	유의확률
1	.000	1	.992
2	4.494	4	.343
3	4.045	6	.671
4	7.515	8	.482
5	14.100	8	.079
6	6.476	8	.594
7	5.298	8	.725
8	4.353	8	.824
9	1.830	8	.986
10	4.328	8	.826
11	1.235	8	.996
12	2.398	8	.966

(b) Hosmer-Lemeshow contingency table

		붕괴여부 = 안정		붕괴여부 = 붕괴		Total
		Observed	Expected	Observed	Expected	
Step 12	1	31	30.996	0	.004	31
	2	31	30.903	0	.097	31
	3	31	29.861	0	1.139	31
	4	24	25.643	7	5.357	31
	5	14	14.518	17	16.482	31
	6	5	4.002	26	26.998	31
	7	1	.903	30	30.097	31
	8	0	.158	31	30.842	31
	9	0	.015	31	30.985	31
	10	0	.001	35	34.999	35

합도 결과를 보면 실제 관측치와 예측치의 차이가 거의 없이 이 모형이 적합함을 의미하고 있다.

표 4는 모형계수 전체 테스트 결과를 나타낸 표이며, 검정통계량에 대하여 χ^2 검정을 실시하였다. 여기서 자유도는 총 사례수에 대한 합계가 정해지면 1개 사례만을 제외한 나머지 사례의 값은 마음대로 어느 값을 갖든지 자유롭다는 것을 의미한다. 파쇄정도를 예로 들면 파쇄정도는 약간균열, 보통균열, 심한균열의 $n=3$ 이 된다. 이때 약간균열과 보통균열의 값이 정해지면 심한 균열이 갖는 값은 이미 결정되어 버리기 때문에 그 변량은 자유도를 잃어 버리게 되고 이 경우에 자유도는 2가 된다. 표 4에 나타낸 각 단계의 유의확률은 모두 0.05보다 작으므로 통계적으로 유의함을 의미하고 있다.

표 5는 모형요약결과를 나타낸 표로서 추정된 모형의 적합성을 우도비 검정에 의해 판단한 결과를 나타내고 있다. 우도값은 일반적으로 로그 -2배를 취한 값을 사용하며 -2log우도로 나타낸다. 여기서 -2log우도는 모형에서 제거된 항의 계수가 0이라는 가설을 검정하며, -2log 우도값은 자유도 $DF=k$ 인 χ^2 분포에 따른다. 결과적으로 우도비 검정결과 각각의 진입변수에 대하여 유의확률이 0.05보다 작으므로 통계적으로 유의하다. Cox and Snell과 Nagelkerke의 R^2 값은 종속변수들이 붕괴여부에 대해서 회귀분석에 의해 세워진 식이 얼마나 붕괴여부를 잘 설명하는지를 나타내는 값이며, 일반적인 회귀분석과는 달리 근사적으로 계산된 값이다. 최종 12단계에서의 R^2 값이 각각 0.637과 0.845로

Table 4. Omnibus tests of model coefficients

단계		카이제곱(χ^2)	자유도	유의확률	진입변수
1 단계	모형	111.438	2	.000	파쇄정도
2 단계	모형	160.248	3	.000	충전불
3 단계	모형	189.920	5	.000	단층
4 단계	모형	217.591	6	.000	사면높이
5 단계	모형	232.304	7	.000	사면경사
6 단계	모형	247.030	8	.000	강수량
7 단계	모형	262.684	10	.000	지하수
8 단계	모형	278.274	13	.000	암종
9 단계	모형	293.649	17	.000	풍화도
10 단계	모형	301.730	19	.000	상부경사
11 단계	모형	308.188	20	.000	방향차이
12 단계	모형	318.270	23	.000	지체구조구

Table 5. Model Summary

단계	-2 Log 우도	Cox and Snell의 R^2	Nagelkerke R^2
1	318.749	.299	.401
2	269.939	.400	.536
3	240.267	.454	.608
4	212.596	.500	.670
5	197.883	.523	.701
6	183.157	.545	.730
7	167.503	.567	.760
8	151.913	.588	.788
9	136.538	.607	.814
10	128.457	.617	.828
11	121.999	.625	.838
12	111.917	.637	.854

나타났으며, 이 수치는 설명변수들이 종속변수를 각각 약 63.7%와 84.5%정도를 설명한다고 할 수 있다.

5.2 로지스틱 회귀모형

표 6은 회귀식에 포함된 변수들에 대한 분석결과를 나타낸 표이며, B(회귀계수), S.E.(표준오차), Wald 통계량, DF(자유도), Wald 통계량의 확률적 표시인 유의확률, Exp(B), 신뢰구간 등이다. 방정식에 포함된 변수

중에서 연속형 변수로는 사면경사, 주절리면과 사면의 방향차이, 사면높이, 강수량이 포함되었고, 범주형 변수로 지체구조구, 암종, 풍화도, 파쇄정도, 단층, 지하수, 사면상부경사이 포함되었다. 그러나 식생상태는 유의하지 않는 것으로 평가되어 회귀식의 변수에서 제외되었다. 여기서, B는 회귀계수로서 양의 부호인 경우에는 독립변수가 한 단계 증가할수록 종속변수도 증가하며, 음의 부호인 경우에는 이와는 반대이다. Wald는 Wald

Table 6. Variables in the equation

단계	항목	B	S.E.	Wald	DF	유의확률	Exp(B)	EXP(B)에 대한 95.0% 신뢰구간	
								하한	상한
12	사면경사	.082	.035	5.411	1	.020	1.086	1.013	1.164
	방향차이	-.021	.008	6.935	1	.008	.979	.964	.995
	사면높이	.047	.021	4.868	1	.027	1.048	1.005	1.092
	강수량	.015	.003	18.568	1	.000	1.015	1.008	1.022
	지체구조구			8.508	3	.037			
	지체구조구 옥천습곡대	2.645	.978	7.313	1	.007	14.090	2.071	95.848
	지체구조구 경기육괴	1.948	1.124	3.000	1	.083	7.011	.774	63.519
	지체구조구 경상분지	.817	1.430	.326	1	.568	2.264	.137	37.367
	암종			11.192	3	.011			
	암종 화성암	-.437	.658	.441	1	.507	.646	.178	2.345
	암종 퇴적암	2.408	1.205	3.993	1	.046	11.111	1.047	117.888
	암종 기타	-2.519	1.540	2.676	1	.102	.081	.004	1.647
	풍화도			12.619	4	.013			
	풍화도 CW	-.465	36.769	.000	1	.990	.628	.000	1.25E+31
	풍화도 HW	-5.013	36.710	.019	1	.891	.007	.000	1.18E+29
	풍화도 MW	-3.020	36.717	.007	1	.934	.049	.000	8.75E+29
	풍화도 SW	-5.698	36.735	.024	1	.877	.003	.000	6.23E+28
	파쇄정도			32.459	2	.000			
	파쇄정도 보통균열	3.150	1.793	3.088	1	.079	23.338	.695	783.400
	파쇄정도 심한균열	6.861	1.853	13.704	1	.000	954.502	25.243	36092.608
	단층			6.122	2	.047			
	단층 1~2개	1.444	.670	4.652	1	.031	4.238	1.141	15.747
	단층 3개이상	-1.194	1.570	.578	1	.447	.303	.014	6.579
	충전물 없음	-4.159	1.057	15.475	1	.000	.016	.002	.124
	지하수			14.465	2	.001			
	지하수 습윤	-4.544	1.501	9.167	1	.002	.011	.001	.201
	지하수 건조	.335	.881	.145	1	.703	1.398	.249	7.854
	사면상부경사			10.705	2	.005			
	사면상부경사 평탄	.639	1.030	.384	1	.535	1.894	.252	14.254
	사면상부경사 상향	2.523	.847	8.874	1	.003	12.463	2.370	65.539
	상수	-9.110	36.789	.061	1	.804	.000		

Table 7. Classification Table

단계	관측	예측값		분류정확 %	
		붕괴여부			
		0(안정)	1(붕괴)		
12단계	붕괴여부	0(안정)	126	92.0	
		1(붕괴)	13	92.7	
	전체 %			92.4	

통계량으로서 χ^2 분포를 따르게 되고 각 변수의 유의성 검정에 이용된다. 유의확률은 Wald 통계량의 확률적 표시로서 Wald 통계량과 마찬가지로 유의성 검정에 이용된다. Exp(B)는 오즈비로서 변수들의 상대적인 증가 비율을 의미하며, 사면경사를 예로 들면 Exp(B)=1.086의 의미는 사면경사가 1° 증가할 때 붕괴될 확률은 안정할 확률보다 1.086배 증가함을 의미하고 있다.

이상의 표 6에 의한 분석결과로부터 얻은 회귀식은 다음 식 (8)과 같다.

$$y = 0.082A - 0.021B + 0.047C + 0.015D + E + F + G + H + I + J + K + L - 9.110 \quad (8)$$

여기서,

A : 사면경사(°)

B : 사면과 주절리면의 방향차이의 절대값(°)

C : 사면높이(m)

D : 1개월 누적강수량(mm/month)

E : 지체구조구(소백산육괴=0, 옥천습곡대=2.645, 경기육괴=1.948, 경상분지=0.817)

F : 암종(변성암=0, 화성암=-0.437, 퇴적암=2.408, 기타=-2.519)

G : 풍화도(RS=0, CW=-0.465, HW=-5.013, MW=-3.020, SW=-5.698)

H : 파쇄정도(약간균열=0, 보통균열=3.150, 심한균열=6.861)

I : 단층 수(없음=0, 1~2개=1.444, 3개이상=-1.194)

J : 충전물(점토, 실트, 탄층=0, 없음=-4.159)

K : 지하수(용수=0, 습윤=-4.544, 건조=0.335)

L : 사면상부경사(하향=0, 평坦=0.639, 상향=2.523)

따라서 예측 붕괴확률($\hat{\pi}(x)$)은 아래 식 (9)와 같다.

$$\hat{\pi}(x) = \frac{\exp(y)}{1 + \exp(y)} \quad (9)$$

여기서, 절단값은 0.5이므로 0.5보다 작은 경우에는 안정그룹에 속하게 되고, 0.5보다 큰 경우에는 붕괴그룹

에 속하게 된다.

본 연구에 이용한 사례사면에 대하여 위의 식을 적용하여 재예측한 결과는 표 7에 나타낸 바와 같이 분석결과로부터 사면붕괴가 발생했을 것이라고 옳게 예측한 확률은 92.7%이었으며, 사면이 안정할 것이라고 옳게 분류할 확률은 92.0%였다. 전체적으로 옳게 분류한 확률은 92.4%로 나타났다.

6. 결 론

본 연구는 고속도로상에 존재하는 암반절토사면에 대하여 기 붕괴된 사면 177개소와 안정한 사면 137개소에 대하여 문헌조사와 현장조사를 실시하고 사면붕괴의 원인이 되는 주요한 요인 13가지의 항목을 선정하여 로지스틱 회귀분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 1) 기존의 사면안정성 평가법이 가지고 있는 문제점인 각 평가항목에 대한 주관적인 가중치 선정문제를 로지스틱 회귀분석을 통해 객관적으로 산정하였다.
- 2) 로지스틱 회귀분석을 통해 암반사면의 안정성을 평가하는 회귀식과 붕괴확률을 예측하는 식을 제안하였다.
- 3) 제안된 회귀식과 붕괴확률을 이용하여 재분석한 결과 붕괴를 정확히 예측할 확률은 92.4%정도로 나타났으며, 분류 정확도가 상당히 높은 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 유병우, 1998, 암반절취면의 안정성 평가 및 대책에 관한 연구, 한양대학교 박사학위논문, 342p.
2. 정광모, 최용석, 1999, SAS를 활용한 범주형 자료분석, 자유아카데미, 258p.
3. 한국건설기술연구원, 2003, 2002년도 도로절개면 유지관리 시스템 개발 및 운용, 한국건설기술연구원, 135-149.
4. 한국도로공사, 2002, 고속도로 안내도 좋은 길 좋은 삶, 한국도로공사, 143p.
5. 한국도로공사, 1996 ~ 2003, 현장기술자문 검토서(사면분야),

한국도로공사 도로교통기술원, 미발표.

6. Yusef A. O. Fiener and Fisal Haji Ali, 1999, Application of hazard and risk maps for highway slopes management and maintenance, Proceedings of the International Symposium on Slope Stability Engineering Vol.2, 1287-1290
7. B. P. Mainalee, H. Fujimura and N. Morishima, 1999,

Preliminary landslide hazard mapping along a hill road in western Nepal, Proceedings of the International Symposium on Slope Stability Engineering Vol. 2, 1287-1290.

8. 日本道路公團, 1986, 道路土工 のり面工・斜面安定工指針, 社團法人 日本道路協會, 6-32, 423-434.

이 용 희

1998년 전남대학교 지질학과 이학사
2000년 전남대학교 토목공학과 공학석사
현재 전남대학교 토목공학과 박사수료



Tel: 031-371-3370
E-mail: dragon202@hanmail.net
현재 한국도로공사 도로교통기술원 지반
연구그룹 근무

김 종 렬

1989년 University of Minnesota, USA,
공학사
1992년 University of Minnesota, USA,
공학석사
1995년 University of Minnesota, USA,
공학박사
1996년 Braun Intertec Corp. Minneapolis, MN, USA, 연구원
1997년 ERES Consultants, Inc. Champaign IL, USA, 연구원
1999년 University of Hawaii Honolulu, HI, USA, 조교수



Tel: 062-530-1654
E-mail: jrkim@chonnam.ac.kr
현재 전남대학교 토목공학과 부교수