

기존보강사면에 대한 위험도 평가기술 개발에 대한 연구

New Approach of the Existing Reinforced Slope Risk Evaluation Method

김 상 환¹ Kim, Sang-Hwan

김 학 문² Kim, Hak-Moon

장 경 준³ Jang, Kyung-Jun

고 동 필⁴ Ko, Dong-Pil

Abstract

This paper presents a new approach of risk evaluation method for the reinforced slopes. In order to perform this study, the existing stability and risk evaluation methods are reviewed and analysed in terms of rainfall, ground condition, and drain conditions. According to the characteristic of the reinforced slopes improved by internal and external reinforcement, the nineteen influence factors are determined in order to develop new risk analysis model based on 'Interaction matrix' approach suggested by Hudson (1991). Using new approach of slope risk analysis model, the weighting values for interaction factors are analysed and determined. Based on new slope risk evaluation approach, the slope risk index, namely SRI (Slope Risk Index) is developed in this study to apply the evaluation of the reinforced slopes. In order to verify the SRI, a total of 15 cases are studied and analysed. The analysed results are compared and evaluated. According to the results, it is deduced that new slope risk evaluation method (SRI approach) is very useful and practically a reliable method to evaluate the existing slopes.

요 지

본 연구는 보강된 기존사면에 대한 새로운 사면 위험도 평가방법에 대한 연구로서 기존의 사면 안정성 및 위험도 평가방법들에서 주요 위험도 영향요소로 구분되는 강우, 압중, 배수상태 항목들에 대하여 검토하고 분석하였다. 분석 결과 사면 위험도에 영향을 미치는 19개의 주요요소를 선정하였으며 이를 Hudson(1991)이 제안한 Interaction matrix 개념의 위험도 분석 모델에 적용하였다. 적용결과 기존사면 위험도 평가방법인 SRI(Slope Risk Index)를 제시하였으며 국내 15개소 사면을 대상으로 검증 실시하였다. 검증 결과 제시한 기존보강사면의 위험도 평가방법의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

Keywords : Artificial slope, Interaction matrix, Risk analysis model, Slope evaluation method, SRI

1. 서 론

1970년대 이후 급속한 국가발전으로 인한 도시의 확장
과 사회기반 시설의 확충으로 인하여 인공 절개지 사

면의 수가 기하급수적으로 늘어났다. 또한 국가 균형
발전 정책으로 인하여 절개지 사면은 지속적으로 늘어
나고 있는 추세이지만 전국적으로 분포된 절개지 사면
의 수가 50~70만개로 추정할 뿐이며 사면의 증가량

1 정희원, 호서대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Hoseo Univ.)

2 정희원, 단국대학교 토목환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Dankook Univ., khm1028@dankook.ac.kr, 교신저자)

3 종신화원, 단국대학교 토목환경공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Dankook Univ.)

4 정희원, 호서대학교 토목공학과 석사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Hoseo Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2009년 7월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

에 비하여 사면의 관리가 미비한 실정이다. 또한 위험사면 관리를 위한 사면의 정량적인 조사와 위험도 평가를 통한 관리가 진행되고 있으나 대부분의 평가사면이 기존사면이 지반의 풍화 및 열화가 진행되고 사면 보호·보강 등이 이루어진 사면이거나 장기적으로 추가보강이 요구되는 사면으로서 현재의 국내 사면위험도 평가 방법들은 기존사면의 특성을 고려하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존사면의 위험도 평가를 위하여 국내·외 사면위험도 평가방법들을 분석하고 기존사면의 주요 위험 영향요소로 판단되는 강우, 배수상태, 상부사면 인장균열 요소들을 평가하여 기존사면의 특성을 고려한 위험도 평가 요소를 도출하였다. 또한 도출된 위험도 평가요소를 Hudson(1991)이 제안한 Interaction Matrix를 기반으로 한 위험도 분석 모델을 제시하였으며 이를 통한 각 선정인자 간 상관관계를 평가하고 가중치(Weighting)를 부여하여 기존사면 위험도 평가방법인 SRI(Slope Risk Index)를 제시하였다.

2. 기존사면 위험도 평가요소

기존사면에 대한 평가요소를 선정하기 위하여 국내·외 사면위험도 평가표들의 평가요소를 분석하고 기존사면의 특성을 고려할 수 있는 평가요소를 선정하였다. 또한 각 평가방법에 제시된 평가인자들을 지형적 요소, 지반공학적 요소, 환경 및 수리학적 요소, 사면보호·보강 요소, 기관별 특색적 요소로 나누어 이에 대한 중복여부로 평가 인자를 선정하였다.

2.1 국내·외 사면위험도 평가요소 분석

국내 사면위험도 평가표로는 한국도로공사, 국립방재연구소, 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원의 평가표를 분석하였다. 각 기관별 위험도 평가요소에 대한 구성비율과 특성을 알아보기 위하여 평가요소를 지형적 요소, 지반공학적 요소, 환경 및 수리학적 요소, 사면보호·보강요소로 나누어 분석한 결과 다음 표 1과 같다.

각 기관별 위험도 평가요소 구성 비율은 지반공학적 요소와 지형적인 요소가 큰 우위를 차지하는 것으로 분석되었다. 한국건설기술연구원의 경우 사면의 위험도 분석과 피해도 분석을 동시에 실시함으로써 다른 기관과는 다르게 기관별 특색적 요소의 배점이 큰 것으로 분석되었다.

상기 분석된 각 기관별 위험도 평가요소 분석을 바탕으로 사면 위험도 평가요소 선정을 위하여 각 기관별로 분석된 평가요소에 대한 중복성을 검토하였으며, 그 결과는 표 2와 같다.

국외의 국가별 또는 기관별 사면 위험도 평가표에 대한 분석으로는 홍콩, 일본도로공단, 일본 건설성, 미국 도로연방국에 대한 분석을 실시하였다. 국외 사면 위험도 평가표의 경우 국내 사면의 지형 및 지반 공학적인 면이 상이하다고 판단되어 평가표별 사면 위험도 평가요소에 대한 구성 비율 분석은 생략하였으며 국내 각 기관별 사면 위험도 평가 요소분석과 동일한 방법으로 국외 사면 위험도 평가요소의 중복성을 검토하였다. 그 결과는 표 3과 같다.

표 1. 국내 각 기관별 위험도 평가요소 구성 비율 분석

구 분	한국도로공사	국립방재연구소		한국건설기술연구원		한국철도기술연구원
		토사	암반	토사	암반	
지형적 요소	22.9%	40%	20%	29.4%	25%	27.94%
지반공학적 요소	60%	30%	55%	23.3%	18.3%	55.84%
환경 및 수리학적 요소	2.9%	20%	15%	7.3%	9.5%	5.58%
사면보호·보강 요소	14.2%	10%	10%	9.4%	11.2%	5.03%
기관별 특색적 요소	0%	0%	0%	30.6%	36%	5.59%

표 2. 국내 각 기관별 사면 위험도 평가요소 중복성 검토

구 분	사면 위험도 평가요소
지형적 요소	사면높이, 사면경사, 상부경사
지반공학적 요소	절리방향, 절리간격, 풍화정도, 특수지질(Seam층), 흙의 분류, 불연속면
환경 및 수리학적 요소	용수유무(지하수)
사면보호·보강 요소	사면보호공, 붕괴이력

표 3. 국외 국가 및 각 기관별 사면 위험도 평가요소 중복성 검토

구분	사면 위험도 평가요소
지형적 요소	사면형상, 사면경사, 사면높이, 사면배후 지형
지반공학적 요소	지질(토사/암반), 균열상황
환경 및 수리학적 요소	용수유무
사면보호·보강 요소	사면보호공

2.2 기존사면을 고려한 사면 위험도 평가요소 분석

기존사면 즉, 공용중인 사면에 대한 위험도 평가시 가장 중요한 것은 설계시 사면과의 차이를 고려한 평가가 이루어져야 한다는 것이다. 이는 시공완료 후 기존사면의 평가 시점까지 주변지형의 변화, 주변구조물의 유·무, 사면지반의 열화, 강우에 의한 침식, 안전성 확보를 위한 보강 공법의 시행 등 여러 요인에 의하여 설계시와는 상이한 부분이 많기 때문이다. 따라서 기존사면 평가인자 중 간과할 수 있거나 중요시 되는 인자로 강우, 배수상태, 상부사면 인장균열을 추가적으로 제시하고 분석하였다.

2.2.1 강우

강우는 여름철 집중되어 내리는 국내 기후적 특성상 기존사면의 안정성에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 홍원표 외 4인은 누적강우량과 강우강도가 사면파괴에 영향을 미친다는 가정을 세우고 전국 산사태 발생규모별 최대시간 강우강도와 누적강우량의 상관관계를 조사하기 위하여 전국에서 발생한 산사태를 발생회수에 따라 소규모(minor), 중규모(severe), 대규모(disaster)의 사면파괴로 구분하여 검토하였다.

국내 산사태 발생규모별 최대 시간강우강도와 누적강우량의 상관도는 그림 1과 같이 최대 시간강우강도와

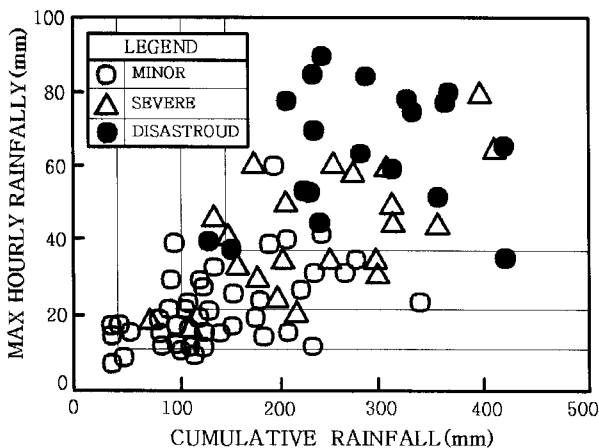


그림 1. 최대 시간강우강도와 누적강우량의 상관도(홍원표 외 4인, 1990)

누적강우량의 관계로 나타낼 수 있으며 그림에서 보는 바와 같이 소규모 산사태는 최대시간 강우강도가 10mm 및 누적강우량이 40mm를 초과하면 발생되기 시작한다. 중규모 산사태는 최대시간 강우강도가 15mm 및 누적강우량이 80mm를 초과하면 발생하기 시작하며 대규모 산사태는 최대시간 강우강도가 35mm 및 누적강우량이 140mm를 초과하면 발생됨을 알 수 있다.

이와 같은 상관성을 볼 때 기존사면의 위험도 평가요소로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

2.2.2 배수상태

사면의 일반적인 붕괴는 강우에 따라 사면 내에 침투된 물 때문에 지반의 안정성이 저하되어 생기는 경우와 사면의 표층부를 유하하는 물에 의해 사면의 일부가 침식되어 생기는 경우로 분류된다. 침투된 물에 의한 붕괴는 단위 체적중량의 증가, 간극수압의 상승에 따른 지반 강도저하 등의 결과에 의하는 것이다. 사면의 침식에 의한 붕괴는 사면을 따라 유하된 물의 분산작용과 운반작용에 의해 생기는 것이며 사면의 형상이나 그 재료의 종류에 따라 규모가 다르다. 따라서 사면내부로 침투되는 물과 사면의 표면으로 흐르는 물의 신속한 배수가 사면의 안정성에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 하지만 배수상태는 지반공학적 측면에서 볼 때 사면안정에 직접적인 영향을 주기보다는 축적되어 사면의 안정성을 위협함으로써 여타 사면요소들의 상관관계를 가질 수 있다. 그러므로 배수상태에 대한 고려가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2.2.3 상부사면 인장균열

사면의 활동파괴에 앞서 인장응력에 의해 사면 끝의 약간 후방부에 발생하는 균열로서 인장균열 내로 물이 침투하게 되면 인장균열 깊이까지 수압의 작용으로 인한 전도모멘트 증가로 사면의 안정성이 저하된다. 특히 토사사면에 발생하는 인장균열은 토사의 인장강도보다 크게 인장력을 받기 때문에 발생하며 이때 균열면에서는 강도를 전혀 기대할 수 없다. 따라서 상부사면의 인

장균열 발생 여부는 사면의 안정성에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 고려가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2.3 기존사면 위험도 평가요소 선정

앞서 중요인자로 도출된 16개의 인자들과 파괴의 직접적이거나 간접적인 요소로 기존사면의 안정성에 큰 영향을 줄 것으로 분석된 강우, 상부사면 인장균열, 배수상태 요소를 포함하여 표 5와 같은 총 19개의 기존사면 위험도 평가요소를 선정하였다.

3. 기존사면 위험도 평가 기법

기존의 국내 사면위험도 평가기법들은 각 기관별 특색적인 요소로 배점의 기준을 달리하고 있으나 기본적으로 평가기준에 대한 점수 분배를 통한 배점화 방식이라는 공통된 방법을 고수하고 있다. 단순 배점화 방법은 정량적인 평가 값 제시라는 장점이 있으나 각 평가 방법별로 주관적 배점의 성격이 강하여 평가 값의 신뢰성이 떨어지는 경향이 있다. 이러한 평가방법의 대안으로 인공신경망(홍원표 외 2인, 2004), 퍼지근사추론법(안종필, 1999) 등이 사용되어 사면 위험도평가에 대한 새로운 방향을 제시한 바 있다. 이에 발맞추어 본 연구에서는 Hudson(1991)이 제안하였던 Interaction Matrix를 기반으로 하여 각 선정인자 간 상관관계에 대한 강도를 평가하고 이를 상대적 가중치(Weighting)로 환산하는 총체적인 평가방법을 제시하였다.

3.1 위험도 분석방법

위험도 분석은 복합적인 인자들에 의한 것이므로 인자의 불확실성과 다양성을 고려해야 한다. 따라서 이에 대한 위험도를 평가하기 위하여 본 연구에서 다음과 같은 4단계로 평가하고자 한다.

- 1단계: 주요 평가요소들의 증명과 여러 가지 값의

등급선정을 위한 평가.

- 2단계: 모델 평가요소들의 거동과 개연론적 모델링의 통계학적인 분산의 정의.
- 3단계: Interaction Matrix를 통한 선택된 요소들이 가지는 효과(Effect), 원인(Cause) 도출.
- 4단계: 위험도 지수 판단.

3.2 위험도 분석 모델

Interaction Matrix의 산출은 분석 시스템에서 요소의 가중치를 평가하는데 도움을 준다. 주요 요소들(P_i)은 Matrix의 대각선을 따라서 놓고 Interaction은 대각선의 나머지 칸들에 놓는다. 이런 Interaction 메커니즘이 요소들 간에 관계 지어지고 서로의 연관성 정도에 대해 ESQ(Expert Semi-Quantitative) 방식을 사용하여 부호화하는 것을 Hudson(1992)이 제안하였다. 이러한 부호화 기법을 따르면, 표 6과 같이 Interaction 연관성의 정도가 0(무관)에서 5(절대적인 상호관계)까지 존재하게 된다.

그림 2는 Interaction Matrix에 대한 전반적인 모식도를 나타낸 것이다.

따라서 Matrix는 시계방향의 규칙을 사용하는 요소들의 ‘원인’(Cause : CF)과 ‘효과’(Effect : EF)로 표현되며, 시스템 내에서 다른 모든 요소와의 영향으로 표현된 P_i 를 통해서 행을 따라가면 각각의 값들은 I_{ij} 로 표현되고 부호화된 값들을 합하게 되면 ‘원인’ (CF)값이 된다.

반대로 위의 방법과 같이 행이 아닌 열을 따라가서 부호화된 값들을 합하면 ‘효과’(EF)가 된다. 이러한 평가방법을 수식화하면 식 (1)과 같다.

$$CF_{pi} = \sum_{j=1}^n I_{ij}, \quad EF_{pj} = \sum_{i=1}^n I_{ij} \quad (1)$$

여기서, CF_{pi} : 요소가 시스템에 영향을 주는 범위

EF_{pj} : 요소가 시스템에 의해서 영향을 받는 범위

각각의 요소가 서로 영향을 미치는 정도의 값은 CF와

표 5. 기존사면 위험도 평가등급요소 선정

구분	평가등급요소
지형적 인자	사면형상, 사면경사, 상부경사, 사면높이, 절리간격, 절리방향, 불연속면, 배후지형, 상부사면 인장균열
지반공학적 인자	균열상태, 풍화정도, 특수지질, 흙의분류, 지질
환경 및 수리학적 요소	지하수(용수유무), 강우, 배수상태, 붕괴이력
사면보호·보강 요소	사면보강공법

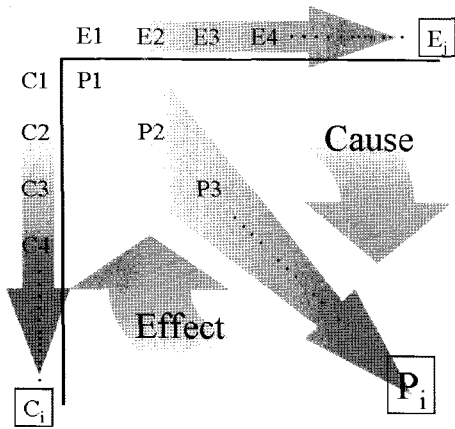


그림 2. Risk factor Interaction Matrix 모식도

표 6. 상호관계 정도와 등급표

등급	표현
0	No interaction(무관)
1	Weak interaction(약한 상호관계)
2	Medium interaction(보통의 상호관계)
3	Strong interaction(강한 상호관계)
4	Very Strong interaction(매우강한 상호관계)
5	Critical interaction(절대적인 상호관계)

EF의 값을 합산하여 나타내고(CF+EF) 시스템 내에서 요소의 중요성의 지표로서 활용한다. 위의 사항을 결론적으로 나타내면, (CF+EF)의 백분율 값을 이용하여 요소의 가중치 계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\alpha_i = \frac{(CF_i + EF_i)}{(\sum_i CF_i + \sum_i EF_i)} (\%), \quad (2)$$

표 7. RISK INDEX의 범주

Low RISK INDEX (I)		Medium RISK INDEX (II)		High RISK INDEX (III)	
I a	I b	II a	II b	III a	III b
0	16	33	49	66	83
← 리스크도 낮음			리스크도 높음 →		

표 8. 기존사면 위험도 평가요소 별 가중치

구분		가중치	구분		가중치
No.	주요인자		No.	주요인자	
P01	저하수(용수유무)	6.0%	P10	절리간격	5.5%
P02	지질	5.6%	P11	풍화정도	6.8%
P03	균열상황	5.8%	P12	특수지질	5.4%
P04	사면형상	4.6%	P13	흙의분류	5.1%
P05	사면경사	5.2%	P14	불연속면	6.2%
P06	사면높이	4.9%	P15	상부경사	4.4%
P07	배후지형	5.7%	P16	강우	6.3%
P08	붕괴이력	4.8%	P17	인장균열	7.3%
P09	절리방향	4.9%	P18	배수상태	5.5%

여기서, CF_i : i 번째 요소의 원인

EF_j : i 번째 요소의 효과

결국 이들은 요소 가중치 α_i 와 각 i 번째 해당하는 배점(P_i)들의 선형조합으로 이루어지며 n 개의 요소들의 총합으로 계산할 수 있다.

이러한 과정을 거쳐 기존사면에 대한 위험도의 지표를 산정하게 되는데 그 식은 아래와 같다.

$$RISK\ INDEX = \left(100 - \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{P_i}{P_{max}} \right) \quad (3)$$

여기서, P_{max} 는 정규화 요소로서 변수가 취할 수 있는 최대값이다. 이와 같은 방식으로 산정한 위험도 지표는 표 7에 나타난 바와 같이 0~100의 백분율로 표현이 되며, 양호한 조건(RISK INDEX 낮음)에서 위험도가 큰 불량한 조건(RISK INDEX 높음)으로 판별할 수 있다.

이를 크게 3개의 범주로 분류하면 0~33미만, 33이상~66미만, 66이상~100의 범주를 가지게 된다.

3.3 평가인자별 가중치 제시

기존사면 위험도 평가요소로 선정된 19개 요소 중 사면보호·보강요소에 선정된 사면보강공 요소는 다른 선정요소들과 성격이 상이하여 인자간 상관관계 분석 기법인 Interaction Matrix에서 제외 하였으며, 사면 보강공

	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8	EF9	EF10	EF11	EF12	EF13	EF14	EF15	EF16	EF17	EF18
CF1	P01	5	5	1	0	1	3	3	2	2	3	1	1	2	0	3	3	5
CF2	3	P02	3	1	2	2	2	1	1	2	1	3	4	3	2	1	2	4
CF3	2	2	P03	1	1	0	1	0	4	4	3	2	1	3	0	1	4	3
CF4	1	1	1	P04	3	3	2	1	1	1	1	1	0	1	3	2	3	1
CF5	3	1	1	4	P05	4	2	0	1	2	1	1	3	3	4	2	3	2
CF6	2	2	1	4	4	P06	3	1	1	2	2	1	1	2	4	1	3	1
CF7	2	2	2	2	2	1	P07	3	1	3	3	2	3	2	3	2	4	2
CF8	2	2	3	1	1	0	3	P08	1	1	3	1	3	1	3	1	4	1
CF9	2	3	4	1	1	1	3	3	P09	4	1	1	0	3	2	1	4	4
CF10	1	3	4	1	1	1	2	2	1	P10	4	4	1	3	2	1	3	4
CF11	3	4	4	3	3	3	3	4	2	2	P11	4	3	3	3	1	5	3
CF12	2	2	4	1	1	1	3	1	4	4	2	P12	1	4	1	1	4	3
CF13	3	4	1	4	4	4	2	2	0	0	4	2	P13	1	4	1	4	3
CF14	2	2	4	2	2	2	3	1	4	4	3	4	0	P14	2	1	4	4
CF15	1	0	1	3	3	3	2	1	1	0	0	0	1	1	P15	0	4	1
CF16	5	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	P16	5	5
CF17	3	2	3	3	4	4	2	4	2	2	2	2	1	3	2	0	P17	2
CF18	5	1	3	1	0	0	0	4	1	1	3	1	1	3	1	1	1	P18

그림 3. 기존사면 위험도 평가요소 간 상관관계도

요소는 위험도 평가시 평가 값에 저감요인으로 작용하게 하였다. 사면보강공 요소를 제외한 나머지 18개 요소에 대해 표 6을 이용하여 기존사면 위험도 평가요소 간 상호관계 정도를 그림 3과 같이 총 18개 인자를 대각선으로 나열하고 각 인자 간의 Interaction 값을 부여하였다. 상위의 식 (1), (2)를 이용하여 작성한 사면위험도 평가요소의 가중치는 다음 표 8과 같다.

3.4 사면보강 요소(β)에 대한 배점

기존의 사면 위험도 평가방법들은 보강된 사면에 대한 평가 요소가 사면의 안정성에 큰 영향을 미침에도 불구하고 배제되거나 과소평가되었다. 따라서 본 연구에서는 사면보강기법에 대한 비율을 안전율적 측면에서 높게 측정하였으며, 평가된 위험도 값에 위험도 저감요인으로 작용할 수 있도록 하였다.

사면 보강 인자가 갖는 점수 분포는 표 9와 같으며, β 에 대한 계산은 다음과 같다.

$$\beta = \sum \text{보강공법 시공에 대한 배점} \times 0.4 \quad (4)$$

여기서, 0.4는 사면보강이 사면 안정성에 미치는 비율

4. SRI(Slope Risk Index) 제시 및 적정성 판단

4.1 SRI(Slope Risk Index) 제시

상기에서 제시한 RISK INDEX 식과 사면보강요소(β)를 종합하여 기존사면에 대한 위험도 평가방법인 SRI를 제시하였으며 제시된 SRI는 다음과 같다.

$$SRI = \left(100 - \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{P_i}{P_{\max}} \right) - \beta \quad (5)$$

여기서, β : 사면보강에 따른 배점

제시한 Slope Risk Index를 통한 기존사면 위험도평가를 수행하게 되면 특정 사면에 대한 위험도를 예측할 수 있다.

4.2 기존사면 위험도 평가요소 배점표 및 SRI 평가 값에 따른 등급표 제시

기존사면 위험도 평가요소에 대한 배점을 부여하기 위하여 배점기준을 제시하였으며, 배점기준은 기존의 평가방법 및 국내 사면지질조사 보고서, 논문 등 문헌을 참고하여 평가요소별 배점기준을 5가지로 분류하여 표 10과 같이 제시하였다. 또한 SRI 값에 따른 등급은 표 7의 RISK INDEX의 범주와 동일하며, SRI 등급은 총 6등급으로 나누어 표 11과 같이 제시하였다.

표 9. β에 대한 점수 분포

		역지공				역제공		
공법	구분	평가기준	배점	공법	구분	평가기준	배점	
앵커공	시공 상태	앵커두부 시공 상태 양호	9	옹벽공	시공 상태	옹벽 구조물 건전도 양호 및 배수상태 양호	6	
		보호캡 파손 및 방청유 유출	7			옹벽의 부분적 박리 및 손상 균열	4.5	
		방호콘크리트 및 정착부 파손 및 열화	5			옹벽의 전반적 박리 및 손상 균열	3	
		앵커두부 시공 상태 불량	3			옹벽 자체 철근 노출 및 침하발생	1.5	
	내구연한 (알 수 없을 경우:1)	시공일로부터 2년 이내	3		내구연한 (알 수 없을 경우:0.5)	시공일로부터 2년 이내	2	
		시공일로부터 2~3년	2.5			시공일로부터 2~3년	1.5	
		시공일로부터 3~5년	2			시공일로부터 3~5년	1	
		시공일로부터 5년 이상	1			시공일로부터 5년 이상	0.5	
	안전율(Fs) (극한인발력에 대한)	일시앵커(2년 미만)	Fs ≥ 1.5		3	안전율(Fs)	Fs ≥ 1.5	2
			Fs < 1.5		1		Fs = 1.2~1.5	1.5
		영구앵커(2년 이상)	Fs ≥ 2.5		3		Fs ≥ 1.2	1
			Fs < 2.5		1			
록볼트	시공 상태	정착판 및 고정상태 양호	9	지표수 배제공	시공 상태	지표수 배수시설 상태 양호	6	
		정착판의 변형 및 고정불량	7			배수시설의 노후 및 열화	4.5	
		정착판 탈락 및 시공상태 불량	5			토사유입 등에 따른 통수능 불량	3	
		시공지반 이완으로 인한 축력 과부족	3			비탈면 표면 붕락 및 붕괴	1.5	
	내구연한 (알 수 없을 경우:1)	시공일로부터 2년 이내	3		내구연한 (알 수 없을 경우:0.5)	시공일로부터 2년 이내	2	
		시공일로부터 2~3년	2.5			시공일로부터 2~3년	1.5	
		시공일로부터 3~5년	2			시공일로부터 3~5년	1	
		시공일로부터 5년 이상	1			시공일로부터 5년 이상	0.5	
	안전율(Fs) (보강재의 인장강도)	Fs ≥ 2.0			3			
		Fs < 2.0			1			
Soil nailing	시공 상태	정착판 및 고정상태 양호	9	지하수 배제공	시공 상태	지하수 배수시설 상태 양호	6	
		정착판의 변형 및 고정불량	7			배수관의 노후 및 파손	4.5	
		정착판 탈락 및 시공상태 불량	5			토사유입 등에 따른 통수능 불량	3	
		시공지반 이완으로 인한 축력 과부족	3			배수시설 이외에 지하수 용출	1.5	
	내구연한 (알 수 없을 경우:1)	시공일로부터 2년 이내	3		내구연한 (알 수 없을 경우:0.5)	시공일로부터 2년 이내	2	
		시공일로부터 2~3년	2.5			시공일로부터 2~3년	1.5	
		시공일로부터 3~5년	2			시공일로부터 3~5년	1	
		시공일로부터 5년 이상	1			시공일로부터 5년 이상	0.5	
	안전율(Fs) (보강재의 인장강도)	네일의 인장 및 전단	Fs ≥ 2.0		3			
			Fs ≤ 2.0		1			
		네일의 극한인발력	Fs ≥ 3.0		3			
			Fs ≤ 3.0		1			
말뚝공	시공 상태	말뚝공 시공 상태 양호	9	지하수 차단공	시공 상태	그라우팅 주입 양호 및 지하수 차단	6	
		말뚝연결 구조물 부식 및 균열파손	7			지하수 베어 나옴	4.5	
		말뚝 자체의 침하 및 이동	5			지하수 흐름 및 부분열화	3	
		말뚝공 시공 지반의 침하 및 융기	3			지하수 용출 및 표면 유실	1.5	
	내구연한 (알 수 없을 경우:1)	시공일로부터 2년 이내	3		내구연한 (알 수 없을 경우:0.5)	시공일로부터 2년 이내	2	
		시공일로부터 2~3년	2.5			시공일로부터 2~3년	1.5	
		시공일로부터 3~5년	2			시공일로부터 3~5년	1	
		시공일로부터 5년 이상	1			시공일로부터 5년 이상	0.5	
	안전율(Fs)	Fs ≥ 2.0			3			
		Fs ≤ 2.0			1			

표 10. 기존사면 위험도 평가요소 배점표

평가인자	배점 기준	배점	평가인자	배점 기준	배점	평가인자	배점 기준	배점
지하수 (용수 유무)	흐름(중, 상부)	0	지질	봉적층	0	균열 상태	많음	0
	흐름(하부)	1		봉적층이 부서진 암편들로 이루어진 토층	1		다소 많음	1
	젖음(중, 하부)	2		두꺼운 화산암 토층	2		보통	2
	젖음(하부)	3		두꺼운 화강암 토층	3		조금 많음	3
	건조	4		신선한 암반	4		없음	4
사면 형상	복합골형	0	사면 경사	1:0.3 이상	0	사면 높이	30m 이상	0
	골형	1		1:0.3~1:0.5 미만	1		30m 미만	1
	중간형	2		1:0.5~1:1 미만	2		20m 이하	2
	산악형	3		1:1~1:1.5 미만	3		15m 이하	3
	대지형	4		1:1.5 이상	4		10m 이하	4
배후 지형	산림	0	붕괴 이력	대규모 붕괴	0	절리 방향	매우불리	0
	잡목림	1		소규모 붕괴	1		불리	1
	밭, 과수원	2		낙석	2		양호	2
	전원	3		조짐 보임	3		유리	3
	택지, 도로	4		붕괴되지 않았음	4		매우유리	4
절리 간격	3m이상	0	풍화 정도	풍화암(완전풍화)	0	특수 지질	10mm이상	0
	1~3m	1		연암(심한풍화)	1		5~10	1
	0.3~1.0m	2		보통암(보통풍화)	2		1~5	2
	30~300mm	3		경암(약간풍화)	3		1mm이하	3
	30mm이하	4		극경암(신선)	4		선선	4
흙의 분류	마사토	0	불연 속면	파쇄대	0	상부 경사	$\geq 35^\circ$	0
	일반적 토사	1		단층	1		$> 20^\circ$	1
	암괴 섞인 토사	2		엽리/암맥	2		$\leq 20^\circ$	2
	실트가 섞인 토사	3		층리	3		$= 0^\circ$ (수평)	3
	점토가 섞인 토사	4		없음	4		$< 0^\circ$ (역구배)	4
강우	200이상	0	인장 균열	$z_o/h = 0.3$ 초과	0	배수 상태	매우불량	0
	150~200	1		$z_o/h = 0.3$ 이하	1		불량	1
	100~150	2		$z_o/h = 0.2$ 이하	2		보통	2
	50~100	3		$z_o/h = 0.1$ 이하	3		양호	3
	0~50mm	4		없음	4		완전배수	4

표 11. SRI 등급에 따른 평가표

구분	SRI 등급에 따른 평가
I a (0~16%미만)	대상사면의 기능을 원활히 할 수 있으며, 강한 외부요인의 작용이후에도 안정성에 문제가 없을 것으로 판단되는 단계.
I b (16%이상~33%미만)	대상사면의 기능을 원활히 할 수 있으며, 지속적인 유지, 관리가 필요시에는 사면보호공법만으로도 안정성을 확보할 수 있는 단계.
II a (33%이상~49%미만)	위험이 인지되며 지속적인 계측과 현장 관리로 사면의 안전을 감소를 주의해야 하는 단계.
II b (49%이상~66%미만)	외부요인에 의하여 붕괴의 가능성이 내재되어 있는 사면. 계측에 의한 지속적인 관리가 필요하며, 사면의 보강을 요하는 단계.
III a (66%이상~83%미만)	붕괴의 가능성이 사면 내부요인에 내재되어 자연붕괴의 가능성이 상당히 높은 사면으로 정밀조사 및 보강을 요하는 단계
III b (83%이상~100%미만)	안정성에 심각한 문제가 있고, 붕괴의 발생이 외관상으로도 인지되며, 조건이 안 좋을 경우 의도적인 파괴 및 재시공을 요하는 단계.

4.3 SRI(Slope Risk Index) 검증

실제 공용중인 사면에 대하여 기존의 위험도 평가방법과 제시한 기존사면 위험도 평가방법인 SRI에 대한 비교평가로 SRI를 통한 기존사면 위험도 평가의 적정성을 판단하였다.

적정성 판단에 사용된 사면은 총 15개소로 조사 자료는 각 지방자치단체로부터 수집한 자료를 이용하였다. 비교를 위한 기존의 평가기법으로는 SRI기법과 평가요소가 비슷한 한국도로공사의 평가방법을 사용하였으며, 기존사면 위험도 평가비교는 대상사면에 대한 지방자치단체의 조사의견과 한국도로공사, SRI 등급으로 비교하

표 12. 기존사면 평가 및 위험도 평가비교

구분 사면	지방자치단체의 조사의견	한국도로공사	Slope Risk Index
# 1. (강원 삼척)	사면 안정성 분석 결과 해당 구간의 안전율은 건조시 허용안전율을 상회하지만 지하수위를 고려 시 허용안전율보다 낮으므로 강우 등의 영향으로 절리면 내로 지하수 침투시 대규모 붕괴의 가능성이 있을 것으로 판단됨.	(평가등급 II, 110점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 53%) 중간 SRI 중 중상위 위험도(IIb)에 해당
# 2 (강원 영월)	사면 안정성 분석 결과 해당 조사 결과를 종합해 보면 절개면에서는 20m 주변에서 중규모의 썩기파괴와 절리의 이완이 심하게 진행된 절개면 상부 지역에서 낙석이 예상됨.	(평가등급 II, 100점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 36%) 중간 SRI 중 중하위 위험도(IIa)에 해당
# 3. (강원 정선)	조사대상 절개면은 풍화와 이완이 진전되어 있으며, 소규모 낙석 가능성이 있는 것으로 조사됨.	(평가등급 I, 75점) 비교적 안정한 사면	(SRI = 61%) 중간 SRI 중 중상위 위험도(IIb)에 해당
# 4. (강원 평창)	본 절개면의 경우 전체적으로 암괴의 이완이 심한 편이 아니어서 대규모의 붕괴가능성은 낮지만 낙석의 발생에 대비한 조치가 필요할 것으로 생각됨.	(평가등급 I, 105점) 비교적 안정한 사면	(SRI = 36%) 중간 SRI 중 중하위 위험도(IIa)에 해당
# 5. (강원 정선)	조사대상 절개면은 매우 낮은 SMR 값을 갖고 있으며, 불연속면을 따른 파괴 또한 예상된다. 이에 따라 조사대상 절개면의 경우는 대규모 절개면 붕괴의 가능성이 매우 높은 지역으로 이에 대한 대책이 요구됨.	(평가등급 II, 131점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 51%) 중간 SRI 중 중하위 위험도(IIb)에 해당
# 6. (강원 삼척)	절개면 전체적으로 파쇄현상이 심한 상태이며 하부에 분포하는 많은 양의 낙석과 절개면 전체적으로 분포하는 암석의 습곡작용 및 표층유실로 미루어 보아 조사대상 절개면의 추가적인 붕괴가 예상된다.	(평가등급 II, 155점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 69%) 중간 SRI 중 상하위 위험도(IIIa)에 해당
# 7. (강원 삼척)	암반구간의 경우 낙석방지망이 설치되어 있지 않아서 낙석이 발생할 경우 피해가 예상되며, 토사구간의 경우 대규모의 세굴 및 표층유실이 발생하고 격자블럭과 배수로 등이 훼손되어 있어 이에 대한 대책이 요구됨.	(평가등급 II, 145점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 46%) 중간 SRI 중 중하위 위험도(IIa)에 해당
# 8. (강원 평창)	절개면에는 어떠한 낙석 방지 시설도 시공되어 있지 않은 상태이기 때문에 비록 낙석이 도로상으로 유입될 가능성은 적지만 보다 효과적인 낙석 차단을 위한 대책이 필요한 실정임.	(평가등급 II, 145점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 52%) 중간 SRI 중 중하위 위험도(IIa)에 해당
# 9. (강원 영월)	본 사면은 낙석의 위험이 매우 높고, 낙석방지망이 시공된 지역이라도 낙석이 방지망을 뚫고 도로상으로 튀어나올 가능성이 완전히 배제할 수 없으므로 이에 대한 대책이 필요함.	(평가등급 II, 125점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 57%) 중간 SRI 중상위 위험도(IIb)에 해당
# 10. (충남 서천)	일부구간에서 쇄굴현상이나 붕괴현상이 발생되어 있어 절개면에 대한 대책공법으로는 붕괴된 구간의 붕도를 제거하고 심줄박이 등으로 인한 절개면 안정화 대책이 필요함.	(평가등급 II, 125점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 50%) 중간 SRI 중상위 위험도(IIb)에 해당
# 11. (충남 서천)	층리의 방향과 평행한 절리가 발달해있고 절개면 하부는 암반이 노출되어 있어 부분적으로 불안정한 요소가 발견됨. 이에 대한 대책이 요구됨.	(평가등급 II, 153점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 62%) 중간 SRI 중상위 위험도(IIb)에 해당
# 12. (충남 서천)	조사대상 사면의 상부에는 인장균열 등이 발생하였으며 토층의 붕괴가 발생하여 추가적인 붕괴의 가능성이 있음. 또한 하부 암블럭이 이완되어 있는 상황으로 보아 추가적인 낙석의 위험성을 내포하고 있음.	(평가등급 III, 165점) 붕괴위험성이 커서 사면안정대책을 요함	(SRI = 57%) 중간 SRI 중상위 위험도(IIb)에 해당
# 13. (충남 예산)	절개면에 분포하는 불연속면은 전체적으로 불규칙한 양상을 보이며 전반적으로 암블럭들이 이완이 심한 상태로 부분적인 낙석의 가능성이 높은 것으로 보임.	(평가등급 II, 145점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 60%) 중간 SRI 중상위 위험도(IIb)에 해당
# 14. (충남 서산)	조사대상 사면은 현재 일부구간에서는 쇄굴현상이나 붕괴 현상이 발생되어 있어 절개면에 대한 체계적인 대책이 마련되어야 할 것으로 사료됨.	(평가등급 II, 160점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 54%) 중간 SRI 중상위 위험도(IIb)에 해당
# 15. (충남 예산)	본 사면은 식생공이 정착되어 있으며 낙석방지망과 낙석방지책으로 방지시설이 이루어져 있음. 본 사면은 평면파괴와 썩기파괴에 대해 불안정한 것으로 판단되고 풍화정도와 인장균열의 발달로 미루어 추가적인 붕괴가 예상된다.	(평가등급 II, 138점) 붕괴위험성이 있어 정밀한 현장 조사 및 지속적인 관찰을 요함	(SRI = 56%) 중간 SRI 중상위 위험도(IIb)에 해당

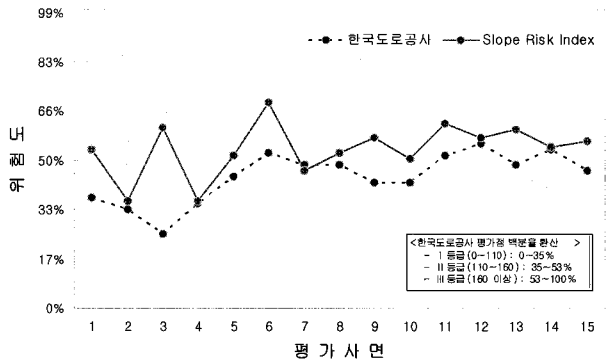


그림 4. 한국도로공사 평가 값과 SRI 평가 값에 대한 백분율 환산비교

였다. 기존사면 위험도 평가비교 결과는 표 12와 같다.

표 12와 같이 기존사면 위험도 평가(SRI)기법의 결과는 비교평가를 위해 사용된 지방자치단체의 조사의견 및 한국도로공사 평가방법에 의한 평가결과와 대부분의 비교사면에서 동일하다. 하지만 1, 3, 6, 9, 13번 비교사면의 경우 SRI 평가기법이 다른 기관에 비하여 위험도가 높게 평가되었다. 이는 기존사면에 대한 특성을 고려한 평가기법임을 고려하였을 때 SRI 기법이 비교기관의 평가방법보다 안정적인 측면의 평가가 이루어진 것이라 판단된다. 한국도로공사의 평가값과 SRI 평가값을 백분율로 환산하여 비교하였을 때 그 차이를 쉽게 볼 수 있으며, 비교결과는 그림 4와 같다.

5. 결론

본 연구에서는 기존사면(공용중인 사면)의 특성을 고려한 사면위험도 평가방법을 제시하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

기존사면 위험도 평가요소 선정을 위하여 국내·외 국가 및 기관별 사면위험도 평가표의 평가요소를 지형적, 지반공학적, 환경 및 수리학적, 사면 보호·보강요인의 공학적 분류를 통하여 나누고 서로간의 중복여부를 분석하였다. 분석결과 총 16개의 기존사면 위험도 평가요소를 도출하였으며, 이외에 기존사면의 특성과 중요성이 과소평가된 경우, 상부사면 인장균열, 배수상태 요소들을 재평가하여 모두 19개의 평가요소를 도출하였다.

기존사면의 위험도 평가요소로 도출된 19개의 주요인자들을 Hudson이 제안한 Interaction Matrix에 적용시켜 기존사면 위험도 평가방법인 SRI(Slope Risk Index)를 제시하였다.

제시된 방법은 각 인자 간 상호관계에 따른 가중치를 제시하고 위험도를 평가하는 방법으로 위험도 평가시

사면보호·보강 요소는 β 로 정의하고 평가된 위험도의 저감 요소로 작용하도록 하였다.

기존사면 위험도 평가방법(SRI)에 대한 적정성을 검증하기 위하여 15개소의 사면조사 자료를 토대로 검증을 수행하였으며 적정성평가를 위하여 대상사면에 대한 조사기관의 의견과 한국도로공사의 사면 위험도 평가방법을 사용하였다. 적정성 비교 결과 SRI의 결과값이 한국도로공사의 평가값과 유사하게 나타났으나 동일 평가요소에 대한 가중치가 기존의 평가방법들보다 높고 기존사면을 고려한 평가요소의 추가로 인하여 비교 대상사면에 대한 값들이 한국도로공사의 평가값보다 안정적인 측면의 평가값을 보인 것으로 판단된다.

따라서 제시된 기존사면 위험도 평가방법인 SRI 방법의 적정성을 입증한 것으로 판단되나 기존사면 위험도 평가요소들에 대한 가중치 값에 대한 지속적인 연구가 요구되며 공용중인 사면에 대한 추가적인 비교분석으로 결과 값의 신뢰성을 높여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(NEMA-06-NH-05) 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부 (2006), *건설공사 비탈면 설계기준*, 한국시설안전공단, pp.81-86, 147-173.
2. 건설교통부 (2006), *건설공사 비탈면 유지관리지침*, 한국시설안전공단 pp.159-201.
3. 건설교통부 (2006), *건설공사 비탈면 표준시방서*, 한국시설안전공단, pp.67-135, 181-229.
4. 한국지반공학회 (2004), *사면안정*, 구미서관, pp.261-310.
5. 한국건설기술연구원 연구원(2007), *지반공학의 현기술과 개선방향*, 구미서관, pp.213-307.
6. 김상환 외 3명 (2008), 기존사면의 안정성 평가기술에 대한 연구, *한국지반공학회 2008 사면안정학술발표회*, pp.159-166.
7. 홍원표 (2003), *활동역지시스템으로 보강된 사면의 설계법 및 안정해석 프로그램 개발 연구보고서*, 건설교통부, pp.34-38.
8. J. MICHAEL DUNCAN, STEPHEN G. WRIGHT (2007), *Soil Strength and Slope Stability*, John Wiley and Sons, pp.199-206.
9. Derek H. Cornforth, *Landslide in Practice*, WILEY, pp.170-218.
10. Artessa Saldivar-Sali (2007), "A Landslide Risk Rating System for Baguio, Philippines", *Engineering Geology* 91, pp.85-99.
11. Fausto Guzzetti (2000), "Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy", *Engineering Geology* 58, pp.89-107.
12. F.C. Dai (2002), "Landslide risk assessment and management : an overview", *Engineering Geology* 64, pp.65-87.

(접수일자 2008. 8. 7, 심사완료일 2009. 1. 22)