

암반비탈면의 성능기반 평가기법 연구 : 평가항목 도출

이종건, 석재욱*, 김홍균, 김용수, 문준식

A Study on Performance-based Evaluation Method for Rock Slopes :
Deduction of Evaluation Factors

Jong-Gun Lee, Jae-Wook Suk*, Hong-Kyoon Kim, Yong-Soo Kim, Joon-Shik Moon

Abstract In this study, the performance-based evaluation factors for rock slopes have been deduced using Delphi-method. Validity of the result was verified through factor analysis. Performance of rock slope is classified as soundness, stability and durability. Through the Delphi survey, 17 factors including discontinuity orientation are deduced for soundness, 4 factors and 3 factors are selected for stability and durability, respectively. Validation is conducted using Exploratory Factor Analysis (EFA) for 24 factors, and all factors are found to be valid. As a result of Exploratory Factor Analysis (EFA), 3-types of performance were subdivided into internal soundness, external soundness, risk, damage and durability of slopes and protection (reinforcement) facilities.

Key words Rock slopes, Performance evaluation, Delphi method, Factor analysis

초 록 본 연구에서는 암반비탈면의 성능기반 평가방안을 개발하기 위해 델파이 기법을 이용하여 성능별 평가항목을 도출하였으며, 요인분석을 통해 최종 평가항목의 타당성을 검증하였다. 비탈면의 성능은 상태건전성, 안전성 그리고 내구성으로 분류하였다. 델파이 조사를 통해 상태건전성에는 절리방향, 배수조건 등 17개의 평가항목이 도출되었으며, 안전성에는 낙석발생 가능성, 인명피해 규모 등 4개의 평가항목이 도출되었다. 내구성에는 풍화도를 포함한 3개의 평가항목이 도출되었다. 델파이 조사를 통해 도출된 24개의 평가항목에 대해 탐색적 요인분석(EFA)을 실시한 결과, 24개의 평가항목 모두 타당성을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 탐색적 요인분석 결과에 따라 3가지의 성능유형을 내적 상태건전성, 외적 상태건전성, 위험도, 피해도 그리고 지반 및 보호/보강시설의 내구성으로 세분류하였다.

핵심어 암반비탈면, 성능 평가, 델파이 기법, 요인분석

1. 서 론

1970년대 시작된 건설부흥에 따라 현재 공용년수가 30년 이상 경과된 시설물이 급증하고 있는 실정(약 11%)이며, 그 수는 10년 후 2배(약 24%) 이상 증가할 것으로 예상된다(KISTEC, 2010). 다양한 시설물로 구성되

는 인프라(SOC)는 국가경쟁력을 가능하는 핵심축도이며, 인프라(SOC)의 고령화는 국가안전 및 경제성장의 저해요인으로 작용하므로 사전예방형 유지관리를 통해 성능유지 및 기능향상 등의 적극적인 관리가 요구되고 있다.

비탈면의 경우, 도로 및 철도 등의 주요 부속시설물로서 SOC 시설물의 안전에 직접적인 영향을 미치고 있어 교량, 터널 등의 주요시설물과 함께 다양한 인자(사용목적, 기능 및 공용년수 등)를 고려한 성능기반의 평가체계 도입이 필요하다. 국내의 재난관리 책임기관은 소관 관리대상 비탈면의 특성과 환경을 고려한 평가기준을 수립하여 활용하고 있지만, 평가목표가 안정성에 국한되어 있어 관리효율 극대화를 위한 평가에는 한계를

Received: Feb. 10, 2015

Revised: Feb. 23, 2015

Accepted: Feb. 23, 2015

***Corresponding Author:** Jae Wook Suk
Tel) +82319103648, Fax) +825319104181
E-Mail) stonely@kistec.or.kr

315, Goyang-Daero, Ilsanseo-Gu, Goyang-City, Gyeonggi-Do
411-758, Korea

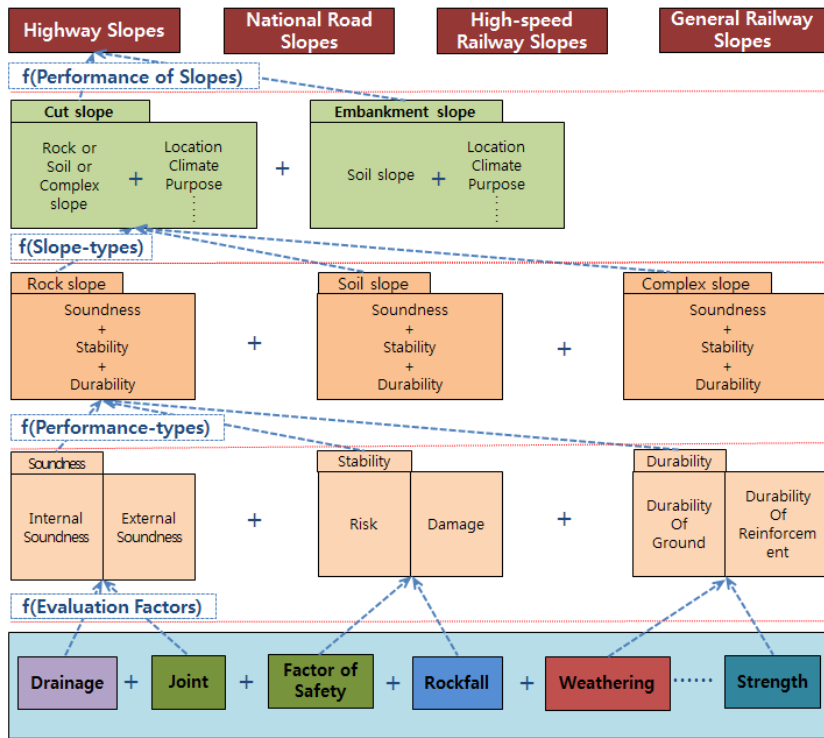


Fig. 1. Concept of performance evaluation for slopes

가지고 있는 실정이다(Lee et. al., 2014).

비탈면의 평가항목, 평가방식 등을 포함하는 평가체계는 다양한 연구에 의해 개선 및 보완이 시도되었다. Kang et. al.(2007)은 평가항목과 비탈면 위험도와의 통계적 연관성을 분석하고 다중회귀분석을 통해 예측모형을 제시하였다. Song et. al(2012)은 ANN(Artificial Neural Network)기법을 이용하여 비탈면 붕괴항목 및 가중치에 대한 적절성을 검토하였다. Jung(2009)은 인공신경망을 이용한 중요도 분석을 통해 암반비탈면과 토사비탈면에 대해 새로운 재해위험도 평가기법을 제안하였다. Lee et. al(2013)은 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」에 따라 관리되는 2종 비탈면의 평가기법에 대해 타당성을 분석하고 일부 평가항목과 안전등급과의 연관성이 낮음을 지적하였다.

본 연구에서는 성능을 고려한 암반비탈면의 평가항목을 도출하기 위해 기존에 적용되고 있는 국내·외의 평가항목을 비교·검토하여 후보항목을 선정하고, 델파이 기법을 이용하여 최종 평가항목을 도출하였다(Fig. 1). 또한, 도출된 평가항목에 대해 탐색적 요인분석을 실시하여 평가모형을 요인별로 분류하여 세분화하였다.

2. 이론적 배경

2.1 델파이 기법(Delphi-Method)

델파이 기법은 RAND 기업에 의해서 최초로 개발되었으며, 참여자들의 직책, 위치, 지위 등을 따로 구분하지 않고 미래에 대한 전문가의 예측을 공유하고 조직화하는 직관적인 방법으로 고안된 것이다(Weaver, 1971). 이는 특정 영역의 문제 해결을 위해 전문가의 합의를 유도하는 기법으로써, 계량적 객관의 원리와 민주적 의사결정의 원리에 논리적 근거를 두고 있다.

델파이 기법은 크게 두 가지의 특성을 가지고 있다. 첫 번째는 ‘익명성’으로, 패널 간의 익명성은 그 집단내의 지배적인 개인의 영향력을 감소시킨다(Dalkey, 1976). 즉, 직접대면에서 발생할 수 있는 소수의견의 함구를 차단하기 위한 장치인 것이다. 두 번째는 ‘피드백’으로, 설문조사 결과에 대한 반복적인 피드백을 통해 전문가의 자신의 의견을 재평가하고 전체적으로 합의를 이루게 된다(Strauss & Ziegler, 1975).

델파이 기법에서 전문가 집단인 패널의 크기에 대한 명확한 기준은 없으나, 델파이 연구의 신뢰도와 패널집

단의 크기 간에는 함수관계가 성립한다. 따라서, 패널의 전문가 자질이 매우 중요한 요소이다(Kwon, 2008). Ewing (1992)은 델파이 결과의 신뢰성을 최대화시키기 위해 패널집단이 최소 10명 이상의 전문가로 구성되어야 한다고 하였으며, Na(1999)은 패널의 수가 13명 이상일 때에는 전후 질문지 간의 과정신뢰도(process reliability)는 전혀 문제가 되지 않으며 평균 0.80 이상의 높은 상관관계를 보인다고 하였다.

본 연구에서는 연구기관, 학계, 산업체 등에서 활동 중인 14명의 전문가 패널을 선정하여 3차에 걸친 델파이 설문조사를 실시하였다. 3차에 걸친 설문조사는 내용타당도 비율(content validity ratio), 합의도(interquartile range), 안정도 등의 지표를 분석하여 최종항목을 도출하였다. 내용타당도 비율은 식 (1)에 의해 산정되며, 패널 수에 따른 최소값 이상이 되면 항목에 대한 내용타당도가 있는 것으로 판단할 수 있다(Lawshe, 1975). 본 연구에서는 14명의 패널이 참여하였으므로 내용타당도 비율의 최소값을 0.51로 적용하였다.

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \tag{1}$$

여기서, n_e 는 중요하다고 응답한 사례 수, N 은 전체 패널 수

합의도는 응답결과의 4분편차와 중앙값을 이용하여 패널응답의 분산을 나타내는 척도로 식 (2)에 따라 산정되며, 일반적으로 IQR이 1 이하의 값을 보이면 합의가 이루어진 것으로 판단할 수 있다.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \tag{2}$$

여기서, Q_3 는 3/4분위수, Q_1 은 1/4분위수

안정도는 패널응답의 일치성을 판단하는 지표로 식 (3)과 같이 변동계수(coefficient of variation)로 평가할 수 있다. 변동계수의 값이 0.5 이하일 경우 안정도가 높아 추가설문이 필요 없으나, 0.8 이상일 경우에는 안정성이 낮아 추가설문이 필요한 것으로 판단한다(Noh, 2006). 응답결과의 안정도가 높다는 것은 응답결과에 대한 표준편차가 작은 것을 의미하므로 C.O.V는 IQR과 함께 패널 의견의 합의 정도를 나타내는 지표로 활용된다.

$$C.O.V = \frac{\sigma}{\mu} \tag{3}$$

여기서, σ 는 표준편차, μ 는 평균

2.2 요인분석(Factor Analysis)

요인분석은 다변량해석의 대표적 기법 중 하나로, 문항이나 변인 사이의 상관관계를 분석하여 몇몇의 잠재요인을 도출하고 의미를 부여하는 통계 방법이다. 즉, 변수들 간의 상호연관성을 분석하고 공통적으로 작용하는 내재적 특성을 추출하여 전체자료를 대변할 수 있는 변수의 수를 줄이기 위한 기법이라고 할 수 있다. 따라서, 요인분석을 통해 다수의 변수를 핵심적 그룹으로 분류하여 설명할 수 있으며 상호연관성 분석을 통해 각 변수의 적합성을 검증할 수 있다.

요인분석은 분석의 목적, 기본가정 및 검증방법 등에 따라 탐색적 요인분석(exploratory factor analysis)과 확인적 요인분석(confirmatory factor analysis)으로 구분된다. 탐색적 요인분석은 변수에 대한 요인의 특성 또는 수에 대해 확실한 정보가 없을 경우 잠재요인을 추출하기 위한 분석방법이며, 확인적 요인분석은 변수에 대한 요인정보를 확보하고 있을 경우 설정의 타당성을 검증하기 위한 분석방법이다(Fig. 2, 3).

본 연구에서는 도출된 평가항목에 대한 요인의 특성 및 수가 명확하지 않으므로 탐색적 요인분석을 실시하

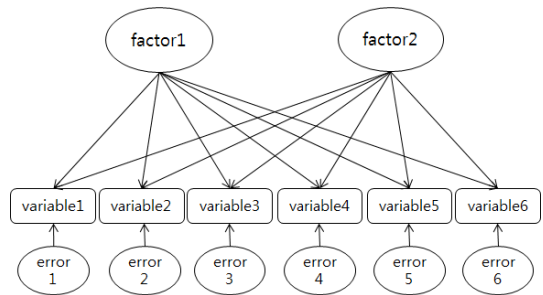


Fig. 2. Concept of Exploratory factor analysis

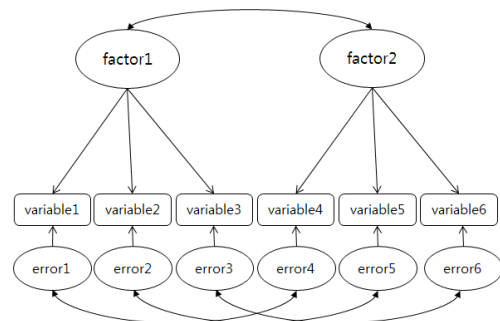


Fig. 3. Concept of confirmatory factor analysis

Table 1. Assessment systems (domestic)

Sort	Assessment systems
1	Condition assessment by Special act of facilities
2	Stability assessment by Korea Expressway Corporation
3	Stability assessment by National Disaster Management Institute
4	Stability assessment by Ministry of Land, Infrastructure and Transport
5	Stability assessment by Korea Railroad Research Institute
6	Stability assessment by Korea Forest Service

Table 2. Assessment systems (overseas)

Sort	Assessment systems
1	Stability assessment by Australia
2	Stability assessment by HongKong
3	Stability assessment by Japan Highway Public Corporation
4	Stability assessment by Japan Ministry of Construction(1)
5	Stability assessment by Japan Ministry of Construction(2)
6	Stability assessment by Japanese National Railways

였다. 탐색적 요인분석을 통해 요인구조를 파악하고 문항별 요인적재량(factor loading)을 분석하여 델파이 조사를 통해 도출된 평가항목의 타당성을 검증하였다.

3. 평가항목 도출

3.1 성능의 유형 및 정의

‘성능’이란 사전적으로 기계나 장비가 지니고 있는 성질이나 기능을 의미하는데, 기술 또는 공학분야에서 성능은 효율성의 의미를 필연적으로 포함하고 있다. 특히, 시설물 유지관리 분야에서의 성능은 효율을 극대화하기 위해 설계 시 확보하고자 하는 유형별 목표기능을 의미하며, 안전성, 사용성, 내구성, 기능성 등의 유형으로 분류된다. 본 연구에서는 성능 기반의 평가기법을 제안하기 위해 암반비탈면의 성능을 3가지(상태건전성, 안전성, 내구성)로 설정하였다. 시설물 유지관리 분야의 성능 중, 사용성은 다양한 시설물에 적용되며 가장 중요한 성능의 하나로 인식되고 있다. 하지만, 비탈면은 교량, 건축물 등과 달리 직접적으로 사용되는 시설물이 아니므로 성능의 유형에 포함시키지 않았다.

3.2 평가 후보항목 선정

델파이 조사를 위한 평가 후보항목 선정을 위해 국내·외 비탈면의 기존 평가항목을 분석하였다. Table 1 및 Table 2는 본 연구에서 검토된 국내·외 평가기관 현

황을 보여주고 있다. 각각의 평가체계는 평가대상의 특성을 고려하여 조금씩 상이한 항목 및 가중치를 설정하고 있으나, 공통적으로 평가항목에 대한 정성적·정량적 평가를 실시하여 결과를 등급화하는 채점식 방법을 사용하고 있다.

국내·외 평가체계의 평가항목은 지형인자, 지질지반인자, 자연인자, 식생인자, 붕락징후인자, 인위적 인자 및 사회적 영향인자로 분류된다(Jung, 2009). 각각의 평가체계를 분석하여 총 58개의 평가 후보항목을 선정하였으며, 평가항목의 특성에 따라 비탈면의 상태건전성, 안전성 및 내구성으로 재분류하였다. 문헌조사로 선정된 성능별 평가 후보항목을 나타내었다(Table 3~5).

3.3 델파이 조사결과

문헌조사를 통해 총 58가지의 평가 후보항목을 선정한 후, 경력이 최소 10년 이상인 14명의 비탈면 분야 전문가(연구기관, 학계, 산업계)를 패널로 구성하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 3차에 걸쳐 진행되었으며, 응답률은 모두 100%였다.

1차 델파이 조사결과, 평가 후보항목 중 내용타당도 비율이 0.51 이상인 28개 항목과 개방형으로 제시된 2개의 신규항목이 2차 설문조사 대상항목으로 선정되었다. 2차 설문조사 대상항목(29개)은 Table 6~8과 같다.

2차 델파이 조사부터는 양호 1점 ~ 극히 위험(극히 불량) 7점의 Likert 척도를 사용하여 실시하였으며 내

Table 3. List of assessment factors for Soundness

Performance	Factors	
Soundness	(1) Valley part	(21) Protrusion of separated rock
	(2) Shape of longitudinal section	(22) Water leakage
	(3) Shape of cross section	(23) Distance between trees
	(4) Special geological condition	(24) Vegetation state
	(5) Clay(filling material)	(25) Condition of drainage
	(6) Seam	(26) Drainage channel
	(7) Fault	(27) Drainage hole
	(8) Joint orientation	(28) Position relationship between slope and road
	(9) Joint spacing	(29) Combining state of slope and retaining wall
	(10) Joint roughness	(30) Inclination of upper natural slope
	(11) Joint strength	(31) Land use in the rear surface
	(12) Existence of crack	(32) Vegetation condition
	(13) Crack spacing	(33) Vegetation state of upper natural slope
	(14) Freshness of crack	(34) Scale of failure
	(15) Trees invaded into crack	(35) History of collapse
	(16) Overhang	(36) History of rockfall
	(17) Distribution of separated rock	(37) Traces of past activities
	(18) Frequency of separated rock	(38) Rainfall intensity
	(19) Position of separated rock	(39) Daily precipitation
	(20) Size of separated rock	(40) Disturbance state

Table 4. List of assessment factors for Stability

Performance	Factors	
Stability	(1) Factor of safety(during dry season)	
	(2) Factor of safety(during rainy season)	
	(3) Factor of safety(during earthquake)	
	(4) Rockfall	
	(5) Investigator opinion	
	(6) Traffic volume	
	(7) Road(Railway) lane, Road(Railway) width	

Table 5. List of assessment factors for Durability

Performance	Factors	
Durability	(1) Weathering	
	(2) Erosion	
	(3) Rock color	
	(4) Permeability	
	(5) Rock strength	
	(6) Existence of protection method	
	(7) Damage of protection method	
	(8) Effect of protection method	
	(9) Existence of reinforcement method	
	(10) Damage of reinforcement method	
	(11) Effect of reinforcement method	

Table 6. List of assessment factors for 2nd survey (Soundness)

Performance	Factors	CVR
Soundness	(1) Valley part	1.00
	(2) Shape of cross section	0.57
	(3) Special geological condition	0.86
	(4) Clay(filling material)	0.57
	(5) Fault	0.57
	(6) Joint orientation	0.86
	(7) Joint spacing	0.86
	(8) Joint roughness	0.57
	(9) Joint strength	0.57
	(10) Existence of crack	0.71
	(11) Distribution of separated rock	0.71
	(12) Size of separated rock	0.57
	(13) Water leakage	0.86
	(14) Vegetation state	0.57
	(15) Condition of drainage	1.00
	(16) Drainage channel	0.71
	(17) Drainage hole	0.71
	(18) Inclination of upper natural slope	0.57
	(19) Scale of failure	0.57
	(20) History of collapse	0.71
	(21) Daily precipitation	0.57

Table 7. List of assessment factors for 2nd survey (Stability)

Performance	Factors	CVR
Stability	(1) Factor of safety (during rainy season)	0.71
	(2) Factor of safety (during earthquake)	0.57
	(3) Rockfall	0.57
	(4) Expected casualties	new
	(5) Existence of detour	new

Table 8. List of assessment factors for 2nd survey (Durability)

Performance	Factors	CVR
Durability	(1) Weathering	0.86
	(2) Damage of protection method	1.00
	(3) Damage of reinforcement method	1.00

용타당도 비율(CVR), 합의도(IQR) 및 안정도(C.O.V) 등의 지표를 통해 결과를 도출하였다. 2차 조사 분석결과, 29개 항목 중 23개 항목이 타당한 것(CVR \geq 0.51)으로 나타났으며, 안전도의 평가항목인 ‘지진 시를 제외(C.O.V= 0.54)하고 28개 항목에 대해 합의가 이루어진 것으로 분석되었다.

3차 델파이 조사에서는 2차 설문조사에 대한 통계분

석 결과(패널의 의사결정 방향)를 포함시켜 자신의 의견을 재평가할 수 있도록 하였다. 3차 조사 분석결과, 29개 항목 중 24개의 항목이 타당한 것(CVR \geq 0.51)으로 나타났으며 모든 항목에 대해 합의가 이루어진 것으로 분석되었다. 따라서, 3차 조사 결과에서 CVR이 0.51 미만의 항목을 제외하여 최종적으로 24개의 평가항목을 도출하였다.

Table 9. Results of 2nd & 3rd surveys (Deduction of Final factors)

Performance	Sort	Factors	Result of 2nd survey				Result of 3rd survey			
			CVR	Avr.	S	COV	CVR	Avr.	S	COV
Soundness	Internal Soundness	(1) Valley part	0.86	5.79	0.80	0.14	1.00	5.79	0.43	0.07
		(2) Shape of cross section (non-selected)	0.14	4.64	1.60	0.34	0.14	4.57	1.16	0.25
		(3) Special geological condition	1.00	6.00	0.68	0.11	1.00	6.00	0.55	0.09
		(4) Clay (filling material)	0.71	6.14	1.35	0.22	0.71	6.00	1.36	0.23
		(5) Fault	0.71	5.86	1.23	0.21	0.71	5.79	1.25	0.22
		(6) Joint orientation	1.00	6.43	0.65	0.10	1.00	6.43	0.65	0.10
		(7) Joint spacing	0.86	5.93	0.92	0.15	0.86	5.64	0.63	0.11
		(8) Joint roughness	0.43	5.14	1.35	0.26	0.57	5.00	0.88	0.18
		(9) Joint strength	0.57	5.29	1.33	0.25	0.71	5.21	0.89	0.17
		(10) Existence of crack	1.00	6.21	0.58	0.09	1.00	6.07	0.47	0.08
		(11) Distribution of separated rock	1.00	5.50	0.52	0.09	1.00	5.50	0.52	0.09
		(12) Size of separated rock	0.86	5.43	0.65	0.12	0.86	5.43	0.83	0.15
		(13) Water leakage	1.00	6.21	0.89	0.14	1.00	6.29	0.83	0.13
	External Soundness	(14) Vegetation state (non-selected)	0.29	4.21	1.37	0.32	0.29	4.29	1.07	0.25
		(15) Condition of drainage	0.86	5.93	1.07	0.18	0.86	6.14	1.03	0.17
		(16) Drainage channel	0.71	5.43	1.09	0.20	0.71	5.29	0.91	0.17
		(17) Drainage hole	0.71	5.43	1.09	0.20	0.71	5.29	0.91	0.17
		(18) Inclination of upper natural slope (non-selected)	0.43	5.00	1.36	0.27	0.43	4.93	1.14	0.23
		(19) Scale of failure	0.71	5.64	1.01	0.18	1.00	5.64	0.63	0.11
		(20) History of collapse	0.71	5.86	1.03	0.18	1.00	5.79	0.58	0.10
		(21) Daily precipitation (non-selected)	0.43	4.86	1.83	0.38	0.43	5.07	1.49	0.29
Stability	Risk	(1) Factor of safety(during rainy season)	0.71	5.71	2.09	0.37	0.86	6.00	1.62	0.27
		(2) Factor of safety (during earthquake) (non-selected)	0.29	4.29	2.33	0.54	0.29	4.29	1.94	0.45
		(3) Rockfall	1.00	6.21	0.80	0.13	1.00	6.36	0.63	0.10
	Damage	(4) Expected casualties	1.00	6.50	0.65	0.10	0.86	6.43	0.94	0.15
		(5) Existence of detour	1.00	6.00	0.96	0.16	0.86	5.79	1.05	0.18
Durability	Durability of slope	(1) Weathering	1.00	6.14	0.66	0.11	1.00	6.00	0.55	0.09
	Durability of pro./rein. facilities	(2) Damage of protection method	0.86	5.71	1.20	0.21	0.86	5.64	1.15	0.20
		(3) Damage of reinforcement method	1.00	6.29	0.47	0.07	1.00	6.29	0.47	0.07

3가지의 성능 중, 안전성의 평균 CVR이 0.9로 가장 높았으며 표준편차도 0.07로 가장 작게 나타났다. 이는 안전성에 해당되는 평가항목들이 다른 평가항목에 비해 Likert 7점 척도에서 상대적으로 중요하다고 평가(5점 이상)된 것을 의미한다. 반면, COV의 경우에는 내구성이 0.13으로 나타나 합의가 가장 잘 이루어진 것으로 분석되었다.

상태건전성에서는 ‘집수지형’, ‘특수지질’, ‘절리방향’,

‘균열의 유무’, ‘부식의 분포’, ‘용수유무’, ‘붕괴발생 규모’ 및 ‘붕괴이력’의 평가항목이 높은 CVR을 보였다. 또한, 안전성에서는 ‘낙석발생 가능성’이, 내구성에서는 ‘풍화도’ 및 ‘보강공 변형/변질/파손’의 평가항목이 높은 CVR을 나타내 내용타당도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 2차 및 3차 델파이 조사결과를 Table 9에 나타내었다.

4. 타당성 검증

이 연구에서 구성모델인 성능평가항목에 대하여 항목 간의 상관관계에 기초하여 불필요한 항목을 제거하고 관련된 항목의 특성파악을 통해 타당성을 확보하기 위해 탐색적 요인분석(exploratory factor analysis)을 수행하였다.

탐색적 요인분석을 위해 2종 시설물로 분류되어 정기적으로 점검(평가)이 수행된 일반국도상의 암반비탈면 60개소에 대하여 이 연구에서 제시한 평가항목을 적용하여 재평가를 수행하였다. 재평가는 60개소의 암반비탈면을 점검했던 각각의 담당자에 의해 직접 수행되었으며, 평가표는 Likert 5점 척도를 사용하였다.

탐색적 요인분석의 주목적은 요인구조를 탐색하는 것이므로, 이 연구에서는 항목의 상관관계에 의해 제거할 수 있는 항목을 주로 검토하였다. 통계분석용 소프트웨어

어 PASW Statistics 18을 사용하였으며, 요인분석의 사용 가능성을 점검하기 위해 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)와 Bartlett의 단위행렬 검증을 실시하여 타당성이 낮은 항목을 제거하고자 하였다.

일반적으로 KMO 값은 1에 가까울수록 표본의 상관이 요인분석을 적용하기에 적합하다는 의미이며, 0.8 이상이면 양호, 0.6 이상 보통, 0.5 이하면 부적합한 것으로 판단한다(Kaiser, 1974). 요인 구조의 회전은 Varimax 방식의 직교회전을 적용하였다. 24개 항목에 대한 KMO 측도는 0.644로 산출되어 비교적 양호한 것으로 나타났으며, Bartlett 구형성 검정 결과 P-value가 0.05보다 작은 값을 나타내어 표본의 상관이 요인분석에 적합한 것으로 나타났다(Table 10).

요인분석에서 제외되어야 하는 항목을 선정하기 위해 공통성을 검토하였으며, 일반적으로 공통성 값(h^2)이 0.4 미만이면 요인분석에서 제외하는 것이 타당한 것

Table 10. KMO and Bartlett

	Kaiser-Meyer-Olkin	.644
Bartlett	chi-square	280.056
	degree of freedom	66
	P-value	.000

Table 11. Communality

Factors	h^2
(1) Valley part	0.815
(2) Special geological condition	0.830
(3) Clay(filling material)	0.738
(4) Fault	0.764
(5) Joint orientation	0.666
(6) Joint spacing	0.769
(7) Joint roughness	0.862
(8) Joint strength	0.872
(9) Existence of crack	0.808
(10) Distribution of separated rock	0.831
(11) Size of separated rock	0.864
(12) Water leakage	0.765
(13) Condition of drainage	0.902
(14) Drainage channel	0.847
(15) Drainage hole	0.762
(16) Scale of failure	0.866
(17) History of collapse	0.751
(18) Factor of safety(during rainy season)	0.808
(19) Rockfall	0.741
(20) Expected casualties	0.702
(21) Existence of detour	0.635
(22) Weathering	0.848
(23) Damage of protection method	0.570
(24) Damage of reinforcement method	0.780

Table 12. Rotated components matrix for Soundness

Components					
1	2	3	4	5	6
Special geological condition 0.815	Water leakage 0.810	Joint strength 0.845	Size of separated rock 0.909	Condition of drainage 0.955	Scale of failure 0.894
Fault 0.809	Valley part 0.796	Joint spacing 0.799	Distribution of separated rock 0.861	Drainage channel 0.908	History of collapse 0.890
Clay (filling material) 0.797	Existence of crack 0.575	Joint roughness 0.731	-	Drainage hole 0.714	-
-	Joint orientation 0.531	-	-	-	-

Table 13. Rotated components matrix for Stability and Durability

Stability		Durability
Components		Components
1	2	1
Factor of safety(during rainy season) 0.538	Rockfall 0.811	Weathering 0.780
-	Expected casualties 0.568	Damage of reinforcement method 0.740
-	Existence of detour 0.092	Damage of protection method 0.672

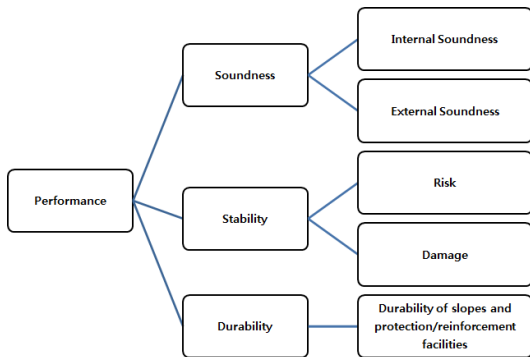


Fig. 4. Subdivision of performance types for rock slopes

로 알려져 있다. 분석결과, 각 평가항목에 대한 공통성의 최댓값은 0.570(보호공 변형/변질/파손)으로 모든 항목이 상관성이 높아 통계적으로 타당한 것으로 나타났다(Table 11).

각 성능에 포함된 항목의 특성을 파악하기 위해 성능별 요인의 수를 분석하였다. 상태건전성의 경우 17개의 항목은 총 6개의 요인으로 구분되었으며 각 요인은 지

질, 지형, 불연속면, 부식, 배수 그리고 파괴이력 등으로 분류되었다(Table 12). 안전성은 안전율과 피해정도로 대표되는 요인으로 분류되었으며, 내구성은 3개 항목 모두가 하나의 요인으로 분류되었다(Table 13).

요인분석 결과에 따라, 암반비탈면의 3가지 성능에 대해 세분류를 실시하였다. ‘상태건전성’은 지질, 불연속면, 파괴이력의 요인을 설명할 수 있는 내적 상태건전성과 지형, 부식, 배수상태를 의미하는 외적 상태건전성으로 분류하였다. 두 가지의 세분류 중, 전자는 비탈면을 구성하는 재료의 특성 및 결함으로 후자는 비탈면의 외부요인으로 관찰되는 특성 및 결함으로 정의될 수 있다. ‘안전성’은 안정해석에 기반한 안전율을 의미하는 위험도와 피해규모, 우회도로 여부 등을 포함할 수 있는 피해도로 분류하였다. 이 중, 위험도는 공학적인 관점에서 평가할 수 있는 안전수준으로, 피해도는 사용자의 관점에서 예상되는 피해수준으로 정의하였다. 마지막으로 ‘내구성’은 3가지의 항목이 하나의 요인으로 분류되어 세분류를 실시하지 않았으며, 3가지의 평가항목은 지반 및 보호/보강시설의 내구성으로 정의될 수 있다(Fig. 4).

5. 결론

본 연구에서는 국내의 비탈면 평가체계를 분석하여 성능별 평가 후보항목을 선정하고, 델파이 기법을 활용하여 최종 성능평가 항목을 도출하였다. 또한, 도출된 평가항목에 대하여 탐색적 요인분석(exploratory factor analysis)을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 3차에 걸친 델파이 조사를 통해 58개의 평가 후보항목 중, 총 24개의 최종 평가항목이 도출되었다. 상태건전성은 집수지형, 특수지질, 절리방향, 배수조건 등 17개의 평가항목으로 구성되었다. 안전성은 안정해석(우기 시), 낙석발생가능성, 인명피해 규모 등 4개의 평가항목이 도출되었으며, 내구성도 풍화도, 보호공 변형/변질/파손 등 최종적으로 3개의 항목이 도출되었다.
2. 상태건전성에서는 ‘집수지형’, ‘특수지질’, ‘절리방향’, ‘균열의 유무’, ‘부석의 분포’, ‘용수유무’, ‘붕괴발생 규모’ 및 ‘붕괴이력’의 평가항목에 대한 CVR 값이 1.0으로 나타났다. 또한, 안전성에서는 ‘낙석발생 가능성’, 내구성에서는 ‘풍화도’ 및 ‘보강공 변형/변질/파손’의 CVR 값이 1.0으로 산출되었다. 이는 전문가를 대상으로 실시한 조사에서 상기의 평가항목이 다른 항목에 비해 상대적으로 중요한 요소로 인식되고 있음을 의미한다.
3. 델파이 조사를 통해 도출된 24개의 평가항목에 대해 탐색적 요인분석을 실시하였으며, 분석결과 24개의 평가항목은 통계적으로 타당성을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 분석을 통해 산출된 요인 수를 통해 상태건전성은 내적 상태건전성과 외적 상태건전성으로, 안전성은 위험도와 피해도로 분류하였다. 마지막으로 내구성은 세분류가 요구되지 않았으며 지반 및 보호/보강시설 내구성으로 성능의 의미를 정의하였다.
4. 이 연구에서 제시한 평가항목은 향후 추가적인 연구를 통해 가중치와 평가지표가 개발되어야 하며, 다양한 조건과 환경에 위치하고 있는 비탈면에 대해 현장(타당성)검증을 실시함으로써 현재의 평가체계를 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 “SOC 유지관리체계 선진화 방안 및 유형별 성능중심 평가기준 개발사업”(과제번호 14SCIP-C079148-01-000000)의 지원

으로 수행되었습니다.

References

1. 노승용, 2006, 알기 쉬운 연구방법론 7: 델파이기법(Delphi technique) : 전문적 통찰로 미래예측하기, 국토연구원, pp. 53-62.
2. Dalkey, N. C., 1976, Toward a theory of group estimation. in H. A. Linstone & M. Turoff(Eds), The delphi method: techniques and applications. pp. 236-261.
3. Ewing, D. M., 1992, Future Competencies Needed in the Preparation of Secretaries in the State of Illinois Using the Delphi Technique, Ph. D. Dissertatio, University of Iowa.
4. Jeong, I. H., 2009, The disaster risk evaluation of the steep slope and the field application, A doctoral dissertation Kyungpook National Univ.
5. 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.
6. Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, 2010, Research on the actual condition for safety and maintenance of infrastructures, Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation.
7. Kwon, T. I., 2008, Study on Drawing Priority of the Influence Factors of Tourist Resort Remodeling Business: Delphi Technic & Analytic Hierarchy Proc, a doctoral dissertation, Sejong Univ.
8. Lawshe, 1975, A Quatitative approach to content validity, Personnel Psychology, 28(4), pp. 563-575.
9. Lee, J. G., Chang, B. S., Kim, Y. S., Suk, J. W. and Moon, J. S., 2013, Risk Assesment for Large-scale Slopes Using Multiple Regression Analysis, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 29, No. 11, pp. 99-106
10. Lee, J. G., Suk, J. W., Park, K. D., Kim, Y. S. and Shin, C. S., 2014, A Study on Performance-based Evaluation for Road and Railroad Slopes, Korea Institute for Structure Maintenance and Inspection Conference 2014, pp. 93-96
11. Na, S.,I., 1999, A Study on the Contents of General Agricultural Education for Elementary, Middle and High School Students in the Information Society, DaeGu National Univ. of Education.
12. Song, Y. K., Jung, M. S., Oh, J. R. and Cha, A. R., 2012, Assessment of Landslide Causal Factors Using ANN Method, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 28, No. 10, pp. 89-96.
13. Strauss, H. J. & Zeigler, L. H. (1975). The Delphi Technique and its uses in Social Science Research. The Journal of Creative Behavior. 9(4), pp. 253-259.
14. Weaver, W. T.(1971). The Delphi Forecasting Method. Bloomington, In: Phi Delta Kappan. 52(5), pp. 267-273.



이 종 건

2005년 경북대학교 자연과학대학 지질학과 이학사
2007년 경북대학교 대학원 지질학과 이학석사

Tel: 031-910-4292
E-mail: gun5f@kistec.or.kr
현재 한국시설안전공단 시설안전연구소 선임연구원



김 홍 균

2007년 한양대학교 공과대학 토목공학과 공학사
2014년 한양대학교 대학원 토목공학과 공학석사

Tel: 031-910-4293
E-mail: bossvirus@kistec.or.kr
현재 한국시설안전공단 시설안전연구소 선임연구원



문 준 식

1996년 연세대학교 공과대학 토목공학과 공학사
1998년 연세대학교 대학원 토목공학과 공학석사
2007년 일리노이 주립대 토목공학과 공학박사

Tel: 053-950-7536
E-mail: j.moon@knu.ac.kr
현재 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수



석 재 욱

2006년 부경대학교 환경해양대학 환경탐사공학과
2008년 부경대학교 대학원 에너지자원공학과 공학석사
2013년 부경대학교 대학원 에너지자원공학과 공학박사

Tel: 031-910-3648
E-mail: stonely@kistec.or.kr
현재 한국시설안전공단 시설안전연구소 선임연구원



김 용 수

1993년 중앙대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1995년 중앙대학교 대학원 자원공학과 공학석사
2002년 중앙대학교 대학원 자원공학과 공학박사

Tel: 031-910-4257
E-mail: yskim@kistec.or.kr
현재 한국시설안전공단 시설안전연구소 수석연구원