

절리암반비탈면의 상태평가항목에 대한 혼합가중치 산정방법에 관한 연구

변요셉¹, 최정찬², 성주현^{2*}

A Study on the Methods to Calculate Mixed Weights of the Condition Evaluation of Rock Slope

Yoseph Byun¹, Jungchan Choi², Joohyun Seong^{2*}

Abstract: This study proposed the modified weighting values for jointed rock slopes. The studies on deduction of evaluation index and calculation of weighting, development of criteria for evaluation and evaluation models have been conducted through decision making techniques such as the Delphi method and the AHP method by many researchers. Because these decisions making techniques may be less objective, it is necessary to calculate reasonable weighting considering both an objective weighting and a subjective weighting simultaneously. In this study, utilizing the inspection data of jointed rock slopes, an objective weighting that the concept of entropy is applied was calculated. And the subjective weighting values by AHP technique was calculated based on the opinion of experts. And a modified weighting was suggested by combining the two. As a result, it was found that jointed rock slopes have higher weighting in artificial factors and the damage status items. In addition based on the finally suggested weighting (mixed weighting), the revised evaluation criteria could be presented by converting it into the evaluation score (76 points). And it is expected that it could be usefully utilized upon inspections on cutting slopes and safety diagnosis since objective and highly reliable criteria compared to the condition evaluation criteria that are currently used could be presented through the results of the study.

Keywords: Rock slopes, Subjective weighting, Objective weighting, mixed weighting

1. 서론

우리나라에서는 절토비탈면의 체계적인 유지관리를 위해 중앙정부를 중심으로 관리체계가 구축되어 왔다. 비탈면의 유지관리에 관한 법령으로 2002년 국토교통부의 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」이 개정됨에 따라 일정규모 이상의 절토비탈면이 2중 시설물로 편입되어 안전점검 및 정밀안전진단 대상이 되었고, 또한 절토비탈면에 대한 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, 2010)이 발간되어 현재까지 절토비탈면의 유지관리에 활용되고 있다. 그러나 현행 평가기준은 가중치에 대한 설정 근거가 명확하지 않고, 과거 일부 전문가들의 경험을 근거로 만들어져 평가접수에 대한 신뢰성 향상이 필요할 것으로 판단된다.

한편, 가중치는 각 지표 속성들의 중요도를 의미하는 것으로

합리적인 결과를 얻기 위해서는 적절한 가중치를 부여하는 것이 중요하다. 따라서 계산과정이 복잡하지 않고 이해하기 쉬워야 한다. 가중치 산정 방법은 주관적 방법과 객관적 방법으로 구분할 수 있다. 주관적 방법으로는 설문조사를 실시하여 의사결정자의 판단을 통해 가중치를 산정하는 델파이(Delphi) 기법과 계층분석기법(AHP) 등이 있으며, 자료를 기반으로 하는 객관적 방법에는 엔트로피(Entropy) 기법과 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA) 등이 있다(Lee, 2003; Han and Kang, 2009; Garg et al., 2015; Han et al., 2015).

그러나 많은 연구자들은 주로 인문사회 분야에서 주로 활용되고 발달되어 오고 있는 의사결정기법인 델파이(Delphi) 기법, 브레인스토밍, 계층화분석(AHP) 기법 등을 통해 평가지표의 도출과 가중치 산정, 평가기준 및 평가모형 개발에 대해 다수의 연구를 수행하였다(Liu and Chen, 2007; Shin et al., 2008; Lee, 2011; Gao et al., 2011; Huang et al., 2012, Choung, 2015; Woo et al., 2013; Park and Chung, 2017; Lee et al., 2017).

기존 수행된 연구들을 살펴보면 엔트로피 기법 관련 연구로는 Lee(2013)은 엔트로피의 가중치 척도를 통해 최선의 선택대안을 효율적으로 선정할 수 있는 접근방법을 제시하였으며, Han and Kang(2009)는 엔트로피 기법을 적용하여 RFID 프라이머시에 대한 영향 평가 지표에 대한 연구를 수행하였

¹정회원, 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 수석연구원

²정회원, Norwegian Geotechnical Institute(NGI) 수석연구원

³정회원, 한국시설안전공단 시설성능연구소 부장

*Corresponding author: bluehill@kistec.or.kr

Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Jinju, 52856, Korea

• 본 논문에 대한 토의를 2018년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

다. Garg et al.(2015)는 알려지지 않은 속성 가중치에서의 엔트로피 기반 다중 기준의사결정 방법에 대한 연구를 수행하였다. Han et al.(2015)는 복합위험요소를 고려한 재해위험지수를 개발하는 데에 엔트로피 기법을 적용하였다. Liu and Chen(2007)은 암반 비탈면의 안정성 평가를 위한 암반 분류법을 새롭게 제시하는데 AHP 기법을 활용하였고, Shin et al.(2008)은 AHP를 이용한 도로절토사면의 조사우선순위 결정을 위한 평가모델 개발에 관한 연구를 수행하였다. AHP 기법 관련 연구로는 Lee(2011)은 AHP 기법을 적용한 절토 비탈면의 상태평가 기준을 제시하였고, Gao et al.(2011)은 AHP 기법 및 fuzzy 기법을 적용하여 광산의 암반 비탈면의 안전성 평가 지표에 대한 연구를 수행하였다. Huang et al.(2012)는 파키스탄 Saindak 광산의 암반 비탈면에 대한 안전성 평가와 관련하여 fuzzy 평가를 기반으로 AHP기법을 적용하는 연구를 수행하였으며 Woo et al.(2013)은 AHP기반 지중 전력구 굴착 위험요소 평가 연구를 진행하였다. Choung (2015)는 AHP 기법 및 ANP기법을 적용하여 고속도로사면의 붕괴위험등급 평가 연구를 수행하였다. Park and Chung(2017)은 텔파이 및 AHP 기법을 활용한 NATM 터널의 평가체계 연구를 진행하였다. 한편, Lee et al.(2017)은 보강토 옹벽의 상태평가 항목에 대해 혼합가중치를 제안하였는데, 혼합가중치 산정시에 AHP, 다중회귀분석, 엔트로피 기법을 적용한 개별 가중치와 혼합 가중치에 관한 연구를 수행하였다.

기존 연구에 대한 고찰 결과, 비탈면 관련한 연구에서는 안전성을 평가할 수 있는 지표의 가중치들이 대부분 전문가들의 경험을 근거로 산정하는 연구들이다.

이에 본 연구에서는 절리암반비탈면에 대해 현장 점검 결과를 토대로 한 객관적 가중치(엔트로피 기반의 가중치)와 경험이나 학식이 풍부한 전문가에 의해 결정된 주관적 가중치(AHP를 활용한 가중치)를 고려한 합리적인 가중치를 산정하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 엔트로피 기법

엔트로피 기법은 확보한 데이터를 기반으로 가중치를 도출하는 객관적 가중치 산정기법 중 하나로서 엔트로피 이론은 불확실성을 나타내는 일반적 척도로서 정보이론과 교통 모델 등에서 널리 사용되고 있다(Lotfi and Fallahnejad, 2010; Jafari, 2013; Lee et al., 2016). 이 기법은 의사결정자들의 주관적인 판단에 의존하지 않고 수집된 자료에 의하여 가중치를 결정할 수 있다(Song and Lee, 2012; Seong and Byun, 2016).

엔트로피 방법을 이용하여 지표별 가중치를 구하기 위한

산정 절차는 Fig. 1과 같다(Seong and Byun, 2016).

의사결정 문제는 식(1)과 같이 D라는 행렬로 나타낼 수 있으며, 모든 요소 대해 정규화 한 결과 p_{ij} 는 식(2)와 같이 표시할 수 있다. 정규화 된 요소에 가중치를 반영하기 위해 엔트로피 개념을 적용 E_{ij} 와 같은 식(3)으로 산정할 수 있다.

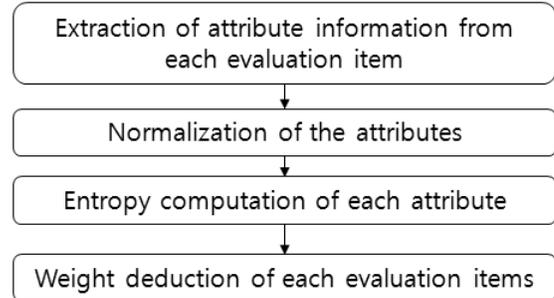


Fig. 1 Procedure of entropy analysis

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \log p_{ij} \quad (k = \frac{1}{\log m}; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

가중치를 구하기 위해 다양성정도 d_j 를 사용하는데 $d_j = 1 - E_j$ 와 같이 계산되며, 다양성 정도를 각 요소에 대해 정규화 한 것이 그 요소의 가중치(w_j)가 된다.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

2.2 AHP 기법

AHP(Analytic Hierarchy Process)기법은 Thomas Saaty에 의해 개발된 기법으로서 요소들의 상대적 중요도를 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교에 의해 측정한다(Saaty, 1977). 이 기법은 전문가들의 집단 의사결정을 체계화할 수 있는 방법이다.

AHP를 이용하여 가중치를 구하기 위해서는 일반적으로 Fig. 2와 같다(Seong and Byun, 2016).

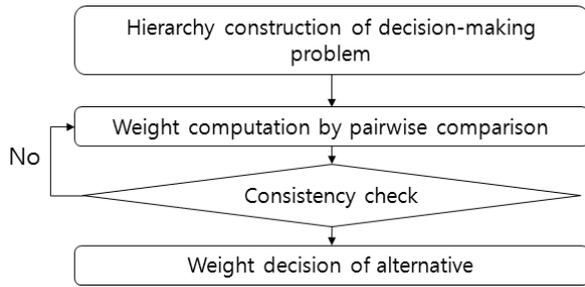


Fig. 2 Procedure of AHP analysis

AHP를 이용해 A_i 와 A_j 를 1:1로 비교하여 ij 만큼의 평가값을 갖는다고 할때 ij 를 비교행렬(comparison matrix)로 나타낼 수 있는데 비교행렬 A 는 항상 다음과 같은 형태가 된다(Saaty, 1980).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{23} \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이를 바탕으로 각 항목별 점수를 부여하고, 각 변수 사이의 비교를 통해 중요도를 부여한 후 가중치를 산정한다. 이렇게 도출된 가중치가 신뢰할 수 있는지 확인하기 위해 일관성 지수(Consistency Index, CI)와 CR(Consistency Ratio)을 비교한다. 일반적으로 CR이 0.1보다 작으면 일관성이 있다고 판단하고, 0.2보다 작으면 허용 가능하다고 판단한다(Saaty, 1980; Cooper et al., 2006).

2.3 혼합 가중치 산정방법

AHP와 같이 설문조사를 실시하여 의사결정자의 판단을 통해 가중치를 산정하는 주관적인 가중치 방법은 설문하는 방법과 답변하는 전문가의 상태에 따라 다른 답이 나올 수 있다. 또한 전문가의 답변에서 최종 결과를 산정하기까지 여러 단계의 과정을 거치게 되고 여기서 각 단계마다 임의적인 해석이 가능하기 때문에 객관성이 결여될 수 있다는 단점이 있다. 또한 엔트로피 기법의 경우는 대안을 선정함에 있어 효과 척도 간의 중요도를 고려하지 않고 있다. 즉, 각 효과척도 간의 중요도가 모두 같다고 가정하는 오류를 범하게 된다. 본 연구의 목적에 부합하도록 각 효과척도간의 중요도를 반영한 가중치 산정을 위해서는 기존의 엔트로피 기반의 가중치에 추가적인 가중치의 반영이 필요하다(Joo et al., 2014).

따라서 주관적 가중치(Subjective Weight)에 객관적 가중치(Objective Weight)를 고려한 합리적인 가중치를 산정할 필요가 있으며, 혼합 가중치는 설문 목적에 대해 잘 알고 있는 전문가의 가중치와 데이터 기반의 엔트로피 가중치를 혼합함으로써 가중치의 공정성을 신뢰할 수 있다는 장점이 있다. 반면

에 객관적 가중치와 주관적 가중치 중에서 비중을 어디에 크게 둘지에 따라 혼합 가중치가 달라진다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 평균제곱오차(Mean Squared Error, MSE) 방법을 이용하여 혼합 가중치를 도출하였다. 본 연구에서는 혼합 가중치를 산정하기 위해 두가지 방법을 적용하였다

혼합 가중치를 산정하는 첫 번째 방법으로 Jee and Kang (2000)의 연구에 따르면 각 속성 간의 중요도가 모두 같다고 가정하는 문제를 해결하기 위하여 경험이나 학식이 풍부한 전문가에 의하여 결정된 가중치를 추가로 적용할 경우, 속성간의 중요도가 고려된 혼합 가중치를 산정할 수 있는 것으로 나타났다. 혼합 가중치는 엔트로피 기반의 객관적 가중치와 AHP 기반의 주관적 가중치를 혼합하여 식 (6)과 같이 계산된다.

$$w_j = \frac{S_j d_j}{\sum_{j=1}^n S_j d_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

여기서, S_j : AHP 기반의 가중치

d_j : 엔트로피 기반의 가중치

혼합 가중치를 산정하는 두 번째 방법으로 객관적 가중치와 주관적 가중치가 있을 때, 식(7)을 통해 새로운 혼합 가중치를 계산하는 것으로서 Canada and Sullivan(1989)에 의해 제시된 방법이다.

$$w_j = \alpha \times O_{w_j} + (1 - \alpha) \times S_{w_j} \quad (7)$$

여기서, α : 평활상수

O_{w_j} : 엔트로피 기반의 가중치

S_{w_j} : AHP 기반의 가중치

이 방법은 예측이론에서 지수평활법(exponential smoothing method)이라 불리는 것이며 α 는 평활상수라고 한다. 평활상수 α 의 성질과 마찬가지로 $\alpha > 0.5$ 인 경우에는 객관적 가중치에 더 많은 비중을 두는 것이며, 반대로 $\alpha < 0.5$ 인 경우는 주관적 가중치에 더 많은 비중을 두고 가중치를 계산하겠다는 의미가 된다.

3. 대상 비탈면 및 점검 항목

본 연구의 자료는 시투법에서 기준으로 하는 2중 비탈면 중에서 절리암반비탈면을 대상으로 한 정밀점검 자료로서 2009

년부터 2013년까지 한국시설안전공단에서 제시한 비탈면 평가방법으로 점검을 실시한 95개의 자료를 활용하였다.

절리암반비탈면에 대한 점검항목은 파괴징후, 파괴현황, 지반상태, 비탈면형상, 자연요인, 인위요인으로 구성되어 있다. 각각을 살펴보면 파괴징후의 경우는 인장균열, 지반변형, 구조물변형 등으로 구성되어 있으며, 파괴현황의 경우는 파괴발생규모로 구성되어 있다. 또한 지반상태의 경우는 절리주향과 비탈면주향과의 차이, 절리경사와 비탈면경사와의 차이, 절리상태로 구성되어 있으며, 비탈면 형상의 경우는 비탈면경사, 자연요인의 경우는 강우 및 지하수위, 인위요인의 경우는 절취상태, 배수조건, 보호 및 보강상태 등으로 구성되어 있다.

4. 가중치 산정

4.1 점검 항목의 가중치 산정

본 연구에서 사용된 점검항목은 기존 세부지침의 암반절리 비탈면 상태평가 항목을 적용하였으며, 각 점검 항목의 가중치는 총합이 1인 비율법을 적용하였으며, 앞서 설명한 엔트로피 기법과 AHP 기법으로 산정하였다. 각각의 산정 결과는 Table 1에 나타냈다.

엔트로피 기법을 적용하여 가중치를 산정할 때에 정규화된 값을 바탕으로 산정하였다. 가중치 산정 결과, 인위요인 중에서 보호 및 보강상태 항목이 가장 높은 항목으로 나타났으며, 파괴징후 항목들인 인장균열, 지반변형, 구조물변형과 자연 요인인 강우 및 지하수가 가중치가 높게 나타났다.

AHP 기법을 적용하여 가중치를 산정하기 위해 해당 분야의 연구기관(40%), 학계(30%), 산업체(30%) 등에 종사하고 있는 24명의 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 시에 계층내 비교항목의 쌍대비교를 통해 항목간의 상대중요도를 수치화하기 위해 통상적으로 사용하는 9점 척도를 이용하였다. 또한 설문결과에서 일관성 비율의 값이 0.2 보다 크면 일관성이 낮은 것으로 간주하고 분석에서 제외하였다(Russell et al., 2006).

AHP 분석을 위해 Fig. 3과 같이 계층도를 형성하였다. 1계층을 비탈면의 손상상태와 파괴요인으로 구분하였다. 이것은 AHP 분석에서 두 개의 최상위 계층의 가중치를 결정하는 단계로서 여기서 결정된 가중치는 하위계층(2계층 및 3계층)의 가중치의 총합이 된다. 1계층을 설정한 후 2계층을 파생시키며, 다음으로 세부평가항목에 대한 3계층을 형성하였다. 이같이 설정된 계층은 전문가 집단 평가시 평가척도로 활용하였다. 각각의 비탈면의 계층별 구조도의 형성은 특성을 부여하여 형성하였다.

AHP 분석 결과, 상위 1계층인 손상상태와 파괴요인의 가중치가 각각 약 0.45, 약 0.55로 나타났다. 2계층에 대한 가중치를 살펴보면 손상상태에서 파괴징후는 약 0.80, 파괴현황이 약 0.20로 나타나 파괴현황보다는 파괴징후가 중요한 것으로 평가되었다. 파괴요인에서는 지반상태가 가장 중요한 것으로 나타났다. 3계층에서도 가중치를 살펴보면 파괴징후 하위계층 항목 중에서 인장균열이 가장 중요한 항목으로 나타났고, 인위요인 중에서는 보호 및 보강상태가 가장 중요한 항목으로 나타났다.

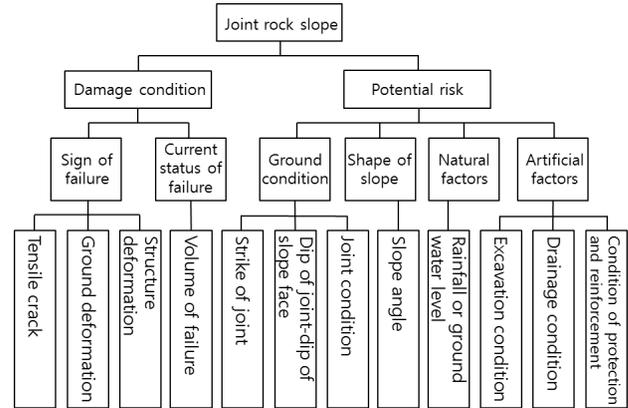


Fig. 3 Hierarchy structure of the evaluation factors for joint rock slope

Table 1 Results used in entropy and AHP analysis

Factors	Weights	
	Entropy	AHP
Tensile crack	0.128	0.155
Ground deformation	0.103	0.136
Structure deformation	0.096	0.125
Volume of failure	0.045	0.074
Strike of joint	0.098	0.073
Dip of joint - dip of slope face	0.072	0.071
Joint condition	0.036	0.063
Slope angle	0.056	0.049
Rainfall or ground water level	0.096	0.060
Excavation condition	0.07	0.034
Drainage condition	0.047	0.057
Condition of protection and reinforcement	0.153	0.103

4.2 혼합 가중치 도출

Jee and Kang(2000)이 제시한 방법으로 산정된 혼합 가중치는 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 2 Weights for condition items of jointed rock slopes

Items	Objective Weight	Subjective Weight	Mixed-Weights (1)
Tensile crack	0.128	0.155	0.214
Ground deformation	0.103	0.136	0.151
Structure deformation	0.096	0.125	0.130
Volume of failure	0.045	0.074	0.036
Strike of joint	0.098	0.073	0.077
Dip of joint - dip of slopes face	0.072	0.071	0.055
Joint condition	0.036	0.063	0.024
slopes inclination	0.056	0.049	0.029
Rainfall or ground water	0.096	0.060	0.061
Excavation condition	0.070	0.034	0.025
Drainage condition	0.047	0.057	0.029
Condition of protection and reinforcement	0.153	0.103	0.169

Canada and Sullivan(1989)에 의해 제시된 방법으로 혼합가중치를 산정하였다. 이때 평활상수 α 를 결정하기 위해 0.1에서 0.9까지 검토하였으며, 절리암반비탈면과 파쇄암반비탈면의 평활상수에 따른 가중치 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 혼합가중치(1)과 혼합가중치(2)(평활상수 $\alpha=0.1 \sim 0.9$) 중에서 적절한 가중치 선정을 위해 평균제곱오차 방법을 이용하였다. 평균제곱오차는 추측값에 대한 정확도를 측정하는 방법으로 그 값이 작을수록 오차값이 적은 것이므로 추측한 값의 정확성이 높은 것이라 할 수 있다. 평균제곱오차는 식 (8)과 같다.

$$MSE = \frac{\sum e_i^2}{n} \quad (8)$$

여기서, e_i : 기존 가중치-혼합 가중치
 n : 평가항목 개수

각각의 평균제곱오차는 Table 4에서 보는 바와 같다. 절리암반비탈면의 경우는 앞서 산정한 혼합가중치 중에서 혼합가중치(2) 평활상수가 0.7일 경우 가장 작은 오차값을 보였으며, 파쇄암반비탈면의 경우는 혼합가중치(2) 평활상수가 0.1일 경우 가장 작은 오차값을 보였다. 절리암반비탈면의 결정된 최종 혼합가중치는 Table 5에서 보는 바와 같이 나타났다.

Table 4 Comparison of mean squared error

Classification	Mean squared error	
	Jointed rock slopes	Fractured rock slopes
Mixed-Weights (1)	3.327.E-03	4.622.E-02
Mixed-Weights (2)	$\alpha = 0.1$	1.448.E-03
	$\alpha = 0.2$	1.346.E-03
	$\alpha = 0.3$	1.262.E-03
	$\alpha = 0.4$	1.194.E-03
	$\alpha = 0.5$	1.143.E-03
	$\alpha = 0.6$	1.110.E-03
	$\alpha = 0.7$	1.094.E-03
	$\alpha = 0.8$	1.095.E-03
	$\alpha = 0.9$	1.113.E-03

Table 3 Mixed weight of jointed rock slopes according to smoothing constant

Items	Smoothing constant (α)								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Tensile crack	0.153	0.150	0.147	0.145	0.142	0.139	0.136	0.134	0.131
Ground deformation	0.133	0.129	0.126	0.123	0.120	0.116	0.113	0.110	0.106
Structure deformation	0.123	0.120	0.117	0.114	0.111	0.108	0.105	0.102	0.099
Volume of failure	0.071	0.068	0.065	0.062	0.060	0.057	0.054	0.051	0.048
Strike of joint	0.076	0.078	0.081	0.083	0.086	0.088	0.091	0.093	0.096
Dip of joint - dip of slopes face	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.072	0.072	0.072
Joint condition	0.060	0.058	0.055	0.052	0.050	0.047	0.044	0.041	0.039
slopes inclination	0.049	0.050	0.051	0.052	0.052	0.053	0.054	0.055	0.055
Rainfall or ground water	0.063	0.067	0.070	0.074	0.078	0.081	0.085	0.089	0.092
Excavation condition	0.037	0.041	0.045	0.048	0.052	0.055	0.059	0.063	0.066
Drainage condition	0.056	0.055	0.054	0.053	0.052	0.051	0.050	0.049	0.048
Condition of protection and reinforcement	0.108	0.113	0.118	0.123	0.128	0.133	0.138	0.143	0.148

Table 5 Modified weights of jointed rock slopes

Items	Modified weights
Tensile crack	0.136
Ground deformation	0.113
Structure deformation	0.105
Volume of failure	0.054
Strike of joint	0.091
Dip of joint - dip of slopes face	0.072
Joint condition	0.044
slopes inclination	0.054
Rainfall or ground water	0.085
Excavation condition	0.059
Drainage condition	0.050
Condition of protection and reinforcement	0.138

4.3 혼합 가중치 비교 분석

최종적으로 제안한 가중치와 세부지침의 가중치에 대해 비교해 보았다. Table 6에서 보는 바와 같이 손상상태와 관련한 항목들을 살펴보면 인장균열은 하향 평가되었고, 지반변형과 구조물변형이 상향 평가되었다. 파괴요인과 관련한 항목들 중에서 절리경사-비탈면경사, 절리상태, 절취상태는 하향 평가되었다. 비탈면 경사, 강우 및 지하수, 보호 및 보강상태는 상향 평가된 것으로 나타났다.

Table 6 The comparison of between existing weights and modified weights of jointed rock slopes2

Items	Existing		Modified		Remarks
	Weights	Rank	Weights	Rank	
Tensile crack	0.132	1	0.136	2	Declined by 2 score
Ground deformation	0.066	3	0.113	3	Increased by 1 score
Structure deformation	0.066	3	0.105	4	Increased by 1 score
Volume of failure	0.053	3	0.054	9	Keep
Strike of joint	0.105	2	0.091	5	Keep
Dip of joint - dip of slopes face	0.105	2	0.072	7	Declined by 2 score
Joint condition	0.105	2	0.044	12	Declined by 4 score
slopes inclination	0.053	4	0.054	9	Increased by 1 score
Rainfall or ground water	0.053	4	0.085	6	Increased by 4 score
Excavation condition	0.105	2	0.059	8	Declined by 3 score
Drainage condition	0.053	4	0.050	11	Keep
Condition of protection and reinforcement	0.105	2	0.138	1	Increased by 4 score

특히 지반변형, 구조물변형, 강우 및 지하수 등은 점검결과를 바탕으로 산정된 엔트로피 기반 가중치와 전문가 그룹의 경험과 지식으로 도출된 AHP 기반 가중치 모두 세부지침 가중치보다 높은 것으로 나타났다. 즉 점검결과 뿐만 아니라 전문가 그룹의 의견에서도 이 항목들이 비탈면의 안전에 중요한 항목임을 보여주는 것으로서 세부지침 대비 가중치를 상향시키는 것이 합리적이라고 판단된다. 보호 및 보강상태의 경우 AHP 기반의 가중치는 세부지침과 유사하게 나온 반면 점검결과를 바탕으로 산정된 엔트로피 기반의 가중치가 높게 나오에 따라 제안 가중치가 세부지침 가중치에 비해 상향 평가된 것으로 나타났다.

5. 결론

본 논문에서는 안전점검 및 정밀안전진단에 합리적인 의사결정을 지원하는 것을 목적으로 절토비탈면에 대해 수정된 가중치를 제안하였다. 점검결과를 기반으로 엔트로피 기법을 적용한 객관적 가중치와 전문가 설문조사를 실시하여 의사결정자의 판단을 통해 가중치를 산정하는 AHP 기법 등을 활용하여 항목별 가중치를 산정하였고, 이를 기반으로 혼합 가중치를 산정한 후에 최종 수정 가중치를 도출할 수 있었다. 본 논문을 통해 얻은 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 엔트로피 기법의 적용시 절리암반비탈면은 보호 및 보강상태 항목이 가중치가 가장 높은 항목으로 나타났으며, 인장균열, 지반변형이 그 다음 항목으로 나타났다.
- 2) AHP 기법 적용시 계층별 구조도의 형성은 비탈면의 특성을 고려하여 형성하였으며 가중치 산정 결과 절리암반비탈면의 파괴정후 하위계층 항목 중에서 인장균열이 가장 중요한 항목으로 나타났고, 인위요인 중에서는 보호 및 보강상태가 가장 중요한 항목으로 나타났다.
- 3) 혼합 가중치 산정시, 대안간의 변별력(엔트로피 기반의 가중치)과 각각 대안별 효과척도간의 중요도(AHP를 활용한 가중치)를 나타내는 두가지 방법으로 산정하였으며, 가장 합리적인 가중치 선정을 위해 평균제곱오차 방법을 이용하여 선정할 수 있었다. 최종 도출된 절리암반비탈면의 수정 가중치는 인위적 요인과 손상상태 항목들이 높은 가중치를 갖는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시한 가중치에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 향후 다양한 상태평가 등급의 비탈면을 선정하여 다양한 결과를 통한 추가적인 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부에서 지원하는 국토교통기술촉진연구사업(과제번호 18CTAP-C145146-01)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (2010), Guidelines for Safety Inspection and In-depth Inspection.
- Lee, K. I. (2003), Selecting on the preferred alternatives of the MADM problems using the entropy measure, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*(in Korean), 26, 55-61.
- Han, P. K., and Kang, B. G. (2009), An impact assessment index for the RFID privacy, *Journal of Information Management*, 40, 69-86.
- Garg, H., Agarwal, N., and Choubey, A. (2015), Entropy based multi-criteria decision making method under fuzzy environment and unknown attribute weights, *Global Journal of Technology & Optimization*, 6, doi:10.4172/2229-8711.1000182.
- Han, S. R., Kang, N. R., and Lee, C. S. (2015), Disaster risk evaluation for urban areas under composite hazard factors, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*(in Korean), 15, 33-43.
- Liu, Y. C., and Chen, C. S. (2007), A new approach for application of rock mass classification on rock slope stability assessment, *Engineering Geology*, 89, 129-143.
- Lee, S. S. (2011), A standard to evaluate objective condition of cut-slope with application of AHP technique, Master's thesis(in Korean), Chung-Ang University.
- Gao, Y., Bao, N., Zhang, Y., Jiang, L., and Huang, Z. (2011), Research on index system of rock slope safety evaluation for open pit mine, *Procedia Engineering*, 26, 1692-1697.
- Huang, Z., Zhao, G., Zhang, Y., Gao, Y., and Zhang, Y. (2012), Safety Evaluation on Slope of Saindak Open-pit Mine, *Procedia Engineering*, 43, 226-232.
- Choung, Y. C. (2015), Assessment of Preliminary Failure Risk Rating of Highway Slopes, Master's thesis(in Korean), Dong- University.
- Shin, C. G., Sung, H. J., and Lee, S. (2008), A Study on Evaluation Model Development for Investigation Priority Decision for Road Cutting Slopes Using Analytic Hierarchy Process, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*(in Korean), 12(4), 107-114.
- Woo, S. K., Kim, K. J., and Kim, T. H.(2013), The Risk Factor Analysis of Power Line Tunnel Using the AHP Method in Construction Stage, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*(in Korean), 17(5), 122-129.
- Park, K. R., and Chung, J. D. (2017), A Study of Evaluation System of NATM Tunnel using Delphi and AHP, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*(in Korean), 21(6), 25-34.
- Lee, H. D., Won, J. H., Seong, J. H. (2017), Weighting Value Evaluation of Condition Assessment Item in Reinforced Earth Retaining Walls by Applying Hybrid Weighting Technique, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*(in Korean), 21(5), 83-93.
- Lotfi, F. H., and Fallahnejad, R. (2010), Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making, *Entropy*, 12(1), 53-62.
- Jafari, H. (2013), Selecting Appropriate Quayside Equipment for Grain Unloading Using TOPSIS and Entropy Shannon Methods, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 3(4), 1072-1078.
- Lee, G. M., Choi, J. W., and Jun, K. S. (2016), An Approach of Social Vulnerability Assessment to Urban Flood, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*(in Korean), 16(4), 43-51.
- Song, Y. H., and Lee, J. H. (2012), Evaluation method of urban inundation risk using multi criteria decision making method, *Journal of KOSHAM*, 12(2), 209-214.
- Seong, J. H., and Byun, Y. S. (2016), A Study on the Weights of the Condition Evaluation of Rock Slope used in Entropy and AHP Method, *Journal of the Korean Society of Safety*(in Korean), 31(5), 61-66.
- Saaty, T. L. (1977), A scaling method for priorities in hierarchical structure, *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281.
- Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Cooper, R., Madden, G., Lloyd, A., and Schipp, M. (2006), *The Economics of Online Markets and ICT Networks*, Physica-Verlag Heidelberg, New York, 233.
- Joo, S., Oh, C., and Hong, S. (2014), Development of Comprehensive Evaluation Index for In-vehicle Warning Information Systems based on Mixed-Weights, *The journal of the Korea institute of intelligent transport systems*(in Korean), 13(6), 10-24.
- Jee, D. H., and Kang, K. J. (2000), A method for optimal material selection aided with decision making theory, *Materials and Design*, 21, 199-206.
- Canada, J. R., and Sullivan, W. G. (1989), *Economic and Multiattribute Evaluation of Advanced Manufacturing Systems*, Prentice-Hall.
- Russell, L. B., Hubley, A. M, Palepu, A., and Zumbo, B. D. (2006), Does Weighting Capture What's Important? Revisiting Subjective Importance Weighting with a Quality of Life Measure, *Social Indicators Research*, 75(1), 141-167.

Received : 06/27/2018

Revised : 08/27/2018

Accepted : 10/18/2018

요 지 : 본 연구는 시특법에 따른 비탈면 상태평가에 활용되는 절리암면비탈면의 가중치에 대한 수정안을 제안했다. 일반적으로 평가 항목 수정 및 각 항목별 가중치 부여와 항목별 평가 기준에 대한 연구는 Delphi 방법 및 AHP 방법 등 전문가의 경험에 의존하는 의사결정기법으로 결정되어 왔다. 본 연구에서는 보다 합리적인 결과를 얻기 위하여 기존의 주관적인 방법뿐만 아니라 비탈면의 점검 및 진단 데이터를 활용한 통계적 기법을 함께 활용하여 객관적인 가중치를 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 절리암반 비탈면의 점검 데이터를 활용하여 엔트로피의 개념을 적용한 객관적인 가중치를 산정하고, AHP 기법에 의한 주관적 가중치는 전문가의 의견을 토대로 산정하였다. 그리고 두 가지를 결합하여 수정가중치가 제안하였으며, 그 결과, 도출된 절리암반 비탈면의 수정 가중치는 인위적 요인과 손상상태 항목들이 높은 가중치를 갖는 것으로 나타났다. 수정된 평가 기준을 향후 비탈면 세부지침 개정 등에 반영되면 보다 합리적인 절리암반 비탈면의 상태안정성 파악이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 절리암반 비탈면, 주관적 가중치, 목표 가중치, 혼합 가중치
