

# AHP 및 엔트로피 기법을 적용한 절리암반비탈면 상태평가항목의 가중치 연구

성주현 · 변요셉\*

한국시설안전공단 시설성능연구소 · \*한국건설기술연구원 지반연구소  
(2016. 3. 11. 접수 / 2016. 6. 23. 수정 / 2016. 8. 29. 채택)

## A Study on the Weights of the Condition Evaluation of Rock Slope used in Entropy and AHP Method

Joohyun Seong · Yoseph Byun\*\*

Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety Corporation

\*Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

(Received March 11, 2016 / Revised June 23, 2016 / Accepted August 29, 2016)

**Abstract** : Many cut slopes are located along national roads, there were the collapse of cut slopes. In this study, the weights for condition evaluation of rock slopes was calculated using the entropy method and analytic hierachy process(AHP) method. The entropy analysis was performed using 95 cut slope data, and the AHP analysis was performed by a questionnaire to several expert. The weights based on analysis results were compared with evaluation weights of existing standard. As a result of this study, there was the difference of weights among the analytical methods. Later on, if this study's results is used to improvement current evaluation weights, it will be possible to perform the reliable condition evaluation.

**Key Words** : entropy, analytic hierachy process(AHP), weights, rock slopes

### 1. 서론

최근 기후변화로 인한 국지성 폭우, 태풍 등으로 인한 다양한 재해가 발생하고 있으며, 그 중에서 비탈면 붕괴로 인한 피해를 줄이기 위해서는 효율적인 유지관리가 필요하다. 이를 위해 비탈면의 붕괴를 유발시킬 수 있는 불안정 요인을 규명하고 안전성을 평가할 수 있는 객관화된 평가기준과 평가방법이 필요하며 이에 따른 효율적인 보수 및 보강방안 제시 등이 필요하다.

국내의 경우에는 효율적인 유지관리를 위해 비탈면 종류나 평가 목적에 따라 시설물별 특성을 고려하여 기관 별로 적절하게 제안하여 사용 중에 있는데, 국토교통부에서는 일정규모 이상의 절토비탈면을 2종 시설물로 편입함에 따라 이와 관련된 ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침<sup>1)</sup>을 마련하여 현재까지 사용 중에 있으며, 이것을 토대로 현재 절토비탈면의 유지관리가

체계적으로 시행되고 있다.

한국시설안전공단(2010)에서 제안한 상태평가 기법은 토층 심도율에 의해 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분할 수 있고, 암반비탈면은 다시 지반강도와 암반의 블록크기 비에 따라 연약암반비탈면, 파쇄암반비탈면, 절리암반비탈면으로 각각 분리하여 평가하도록 제시하고 있다. 이것은 타 기관의 기준들과 다르게 암반비탈면별 특성을 고려하여 절리 발달정도, 암반 파쇄정도, 암반 강도 특성에 따라 평가기준을 작성한 점은 일률적인 암반비탈면에 대한 평가에서 차이점이 있다.

이처럼 현재는 절토비탈면의 유지관리가 체계적으로 시행되고 있어 점검 및 진단을 통한 수많은 정량적 자료들이 축적되어왔으나, 아직까지 이 자료의 환류가 수행되고 있지 않는 실정이다.

이에 본 연구에서는 현재까지 실시된 점검 및 진단 결과를 바탕으로 절리암반비탈면의 상태평가 항목에

\* Corresponding Author : Yoseph Byun, Tel : +82-31-9950-894, E-mail : byunyoseph@kict.re.kr

Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do 10223, Korea

대해 세부지침 가중치, 점검 및 진단 자료에 기반한 객관적 가중치, 전문가들의 경험적 근거에 기반한 주관적 가중치를 산정하여 상호간의 비교·분석을 수행하였다. 이를 위해 의사결정 문제에 있어 결정권자의 주관에 좌지우지되지 않고 단지 의사결정에 사용되는 데이터에 의해서만 가중치를 도출해내므로 객관적 방법인 엔트로피 기법과 복잡한 의사결정문제에서 주요한 인자를 각 계층별로 분류하고 쌍대비교행렬을 작성해 가중치를 도출해내는 방법으로 실제 인간의 사고체계와 흡사한 방식으로 문제를 구조화할 수 있는 AHP 기법을 활용하였다. 이와 같은 엔트로피 기법과 AHP 기법을 토목분야에 이용한 대표적인 연구를 살펴보면 엔트로피 기법 적용 연구는 자연재해의 복합위험지수에 대한 가중치 산정을 위해 인천시의 8개 지역에 대해서 엔트로피 기법, 델파이 기법, 주성분 분석을 이용하여 가중치를 비교 및 분석한 연구<sup>2)</sup>, 상수관망의 계측기 위치를 기존의 경험적 판단에 의해 결정하던 문제점을 보완하기 위해 엔트로피 기법을 이용하여 객관적이고 정량화된 계측기 위치 결정 방안 연구<sup>3)</sup>, 하천 중단면에 엔트로피 이론을 적용하여 하천평균경사, 하천경사 및 하천중단고도 결정 방법을 제시한 연구<sup>4)</sup>들이 있고, AHP 기법 적용 연구는 안성시를 대상으로 AHP 및 로지스틱 회귀분석을 이용하여 GIS와 RS자료를 활용한 산사태 위험지를 분석한 연구<sup>5)</sup>, 도로시설 자산관리정보시스템을 개발하고 운영하기 위한 방향을 모색하고자 AHP기법을 이용하여 자산관리정보시스템이 객관적이고 정량화된 평가를 위한 연구 모형을 제시한 연구<sup>6)</sup>, 교량상부구조형식 선정 시 고려되는 경제성 및 기타 교량의 제반 특성에 대한 다속성 의사결정과정을 제시하기 위해 AHP기법을 이용하여 최적의 대안을 선정하는 방법에 관한 사례연구<sup>7)</sup> 등이 있다. 한편, 엔트로피 기법과 AHP 기법을 적용한 연구는 콘크리트 옹벽에 대해 총 302 현장개소에 대한 콘크리트 옹벽 점검결과를 바탕으로 엔트로피 기법, AHP 기법, PROMETHEE 기법 등의 다양한 분석을 통해 항목별 상대적 가중치 산정을 통해 중요 성능평가 항목 도출에 관한 연구<sup>8)</sup>가 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 AHP 기법

AHP(Analytic Hierarchy Process)기법은 Thomas Saaty가 개발한 기법으로서 전문가들의 집단 의사결정을 체계화할 수 있는 방법이며 요소들의 상대적 중요도를 쌍대 비교에 의해 측정한다<sup>9)</sup>.

AHP를 이용하여 의사결정과 관련한 문제를 해결하기 위해서는 일반적으로 Fig. 1과 같이 4단계의 과정을 걸쳐 적용된다.

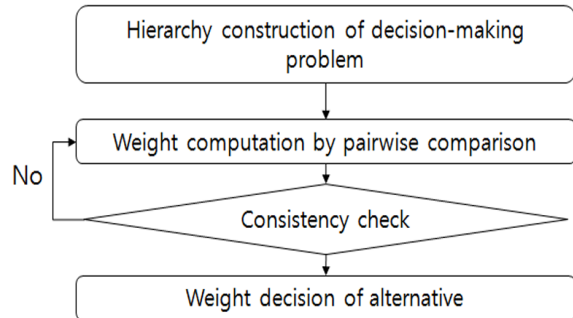


Fig. 1. Procedure of AHP analysis.

AHP를 이용해  $A_i$ 와  $A_j$ 를 1:1로 비교하여  $ij$ 만큼의 평가값을 갖는다고 할 때  $ij$ 를 비교행렬(comparison matrix)로 나타낼 수 있다. 이 때 평가값  $ij$ 는 항상 양의 값을 갖는다.  $A_i$ 가  $A_j$ 보다 높은(낮은) 평가를 받는다면  $ij > 1$ ( $ij < 1$ )이 된다. 한편 동일한 대상은 같은 평가를 받기 때문에  $ii=1$ 이다. 그리고  $A_j$ 는  $A_i$ 의  $1/ij$ 의 평가를 받기 때문에  $ji=1/ij$ 이다. 따라서 비교행렬  $A$ 는 항상 다음과 같은 형태가 된다<sup>10)</sup>.

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

이를 바탕으로 각 항목별 점수를 부여한다. AHP 방법의 가중치를 구하는 방법은 다음과 같다. 각 변수 사이의 비교를 통해 중요도를 부여한 후 열의 합을 구한다. 이를, 열의 합을 구한 이후 각 셀의 값을 열 합계로 나누고 각 셀의 행 합계를 구한다. 그 다음 행 합계를 변수의 개수로 나누어 평균값을 구한다. 이렇게 나온 평균값이 변수의 가중치이다.

이렇게 도출된 가중치가 신뢰할 수 있는지 확인하기 위해 일관성 지수(Consistency Index)를 계산한다. 이를 위해 행렬  $A$ 와 각 변수의 가중치를 곱한 값인  $\lambda_p$ 값을 계산한다. 이렇게 계산한 각 항의 값을 각 변수의 가중치로 나누고 그 합을 합하여 평균을 계산하여 행렬  $A$ 의 최대 고유치  $\lambda_{max}$ 를 구한다. 그리고  $\lambda_{max}$ 를 이용하여 일관성 지수를 구한다.

이후 CI를 RI(Random Index)로 나누어 CR(Consistency Ratio)을 계산한다. 보통 CR이 0.1보다 작으면 일관성이 있다고 판단하고, 0.2보다 작으면 허용 가능하다고 판단한다<sup>10,11)</sup>.

### 2.2 엔트로피 기법

엔트로피 기법은 AHP(Analytic Hierarchy Process)와 같이 설문조사 등을 통한 의사결정자의 주관적 판단에 의존하지 않고 구성된 의사결정문제의 데이터에 의해서만 가중치를 계산할 수 있는 객관성이 검증된 방법이다.

엔트로피 기법은 대안과 속성을 많이 포함하는 현실적인 다기준의사결정 문제에 대해 의사결정자가 비교적 이해하기 쉬운 정보이론 방법을 적용하는 것이다. 정보이론이란, 각 속성의 빈도수를 기반으로 응집도가 높은 속성을 발견하여 가중치를 높게 부여하는 방법이다<sup>12)</sup>.

엔트로피 방법을 이용하여 지표별 가중치를 구하기 위한 산정 절차는 Fig. 2와 같다. 먼저 각지표의 구축된 값을 이용해 행렬을 구성하고 구성된 지표별로 속성정보를 정규화 한다. 정규화 된 자료를 이용하여 각 속성별 엔트로피를 산정한 후 최종적으로 지표간의 가중치를 결정하게 된다.

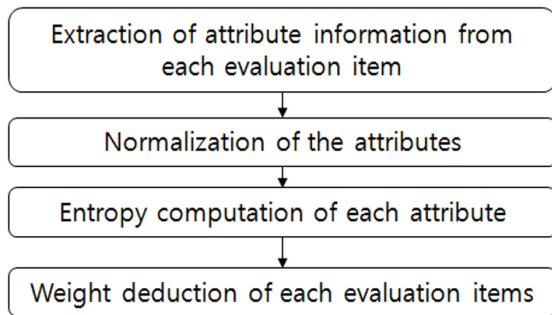


Fig. 2. Procedure of entropy analysis.

정규분포형의 엔트로피 기법은 대안-속성 행렬로부터 가중치 벡터를 추정해내는데, 이 행렬은 엔트로피 관점에서 기준들 간의 가중치 추정의 정보를 담고 있다. 즉 대안들 간의 차이가 큰 기준은 중요한 기준이고 대안들 간의 차이가 적은 기준은 덜 중요한 기준이다. 여기서 의사결정 문제는 식(2)와 같이 D라는 행렬로 나타낼 수 있으며, 모든 속성에 대해서 정규화 한 결과를  $p_{ij}$ 라고 하면,  $p_{ij}$ 는 식(3)과 같이 표시된다. 또한 각 속성의 엔트로피를  $E_j$ 라고 하면, 엔트로피는 식(4)로 산정할 수 있다.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

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

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \log p_{ij} \quad (k = \frac{1}{\log m}; j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

속성의 가중치를 구하기 위하여 다양성정도  $d_j$ 를 사용하는데, 다양성 정도는  $d_j = 1 - E_j$ 와 같이 계산되며, 이 값들은 각 속성에 대하여 정규화한 것이 그 속성의 가중치( $w_j$ )가 된다.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

### 3. 현행 상태 평가 항목 및 가중치

한국시설안전공단의 “안전점검 및 정밀안전진단 세 부지침(2010)”에서 제시하는 절리암반비탈면의 상태평가는 손상상태 조사와 파괴요인 조사로 구분되고, 내용을 살펴보면 다음과 같다.

손상상태 조사는 비탈면에 발생한 파괴이력과 현재 진행 중인 파괴징후에 대한 조사로서 비탈면 상태평가의 직접적 평가내용이다. 조사항목은 크게 비탈면의 파괴징후에 관련된 항목과 기 발생된 파괴현황에 관련된 항목으로 나눌 수 있으며, Table 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Evaluation factors of damage condition

Categories	Evaluation factors
Sign of failure	- Tensile crack or crushed rock - Ground deformation(bulging etc.) - Deformation condition of structures(wall, side ditch etc.) or nearby structures(road etc.)
Current status of failure	- Volume of failure and the number of failure - Failure type

절리암반비탈면의 파괴요인 조사는 비탈면 파괴의 원인이나 요소로 작용하는 인자들에 대한 조사로서 비탈면 상태평가의 간접적 평가내용이다. 조사항목은 크게 비탈면의 내부 파괴요인 항목과 외부 파괴요인 항목으로 나눌 수 있으며 자세한 내용은 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 2. Evaluation factors of potential risk

Categories	Internal		External	
	Ground condition	Shape of slope	Natural factors	Artificial factors
Rock slopes	- Strike of discontinuity - joint angle - joint condition	- Slope angle	- Rainfall or ground water level	- Excavation condition - Condition of protection and reinforcement - Drainage condition

절리암반비탈면의 평가항목별 배점과 가중치는 Table 3과 같다.

Table 3. The scores and weights of existing standard

Factors	Scores	Weights
Tensile crack	10	0.132
Ground deformation	5	0.066
Structure deformation	5	0.066
Volume of failure	4	0.053
Strike of joint	8	0.105
Dip of joint - dip of slope face	8	0.105
Joint condition	8	0.105
Slope angle	4	0.053
Rainfall or ground water level	4	0.053
Excavation condition	8	0.105
Drainage condition	4	0.053
Condition of protection and reinforcement	8	0.105

#### 4. 가중치 산정 및 분석

##### 4.1 AHP 기법 가중치

각 평가항목별 합리적 가중치를 산정하고자 실무에 있는 전문가 집단을 선정하여 설문조사를 실시하였으며, 계층내 비교항목의 쌍대비교를 통해 항목간의 상대 중요도를 수치화하기 위해 통상적으로 사용하는 9점 척도를 이용하였다. 쌍대비교를 위한 계층구조는 Fig. 3과 같다. 이를 토대로 총 26명의 전문가 집단에게 설문조사를 실시하였으며 24명의 전문가에게 설문지를 회수하였다. 이때 일관성 비율의 값이 0.2보다 크면 일관성이 낮은 것으로 간주하고 분석에서 제외하였다<sup>10,11)</sup>.

AHP 분석 결과 Table 4에서 보는 바와 같이, 인장균열(0.156)은 가장 높은 가중치를 갖는 것으로 나타났고, 그 다음은 지반변형(0.136), 구조물 변형(0.126), 보호 및 보강상태(0.103) 순으로 나타났으며, 발생규모(0.074), 절리주향(0.073), 절리경사-비탈면경사(0.071)의 가중치는 유사하게 나타났다. 절취상태(0.034)는 12개의 평가

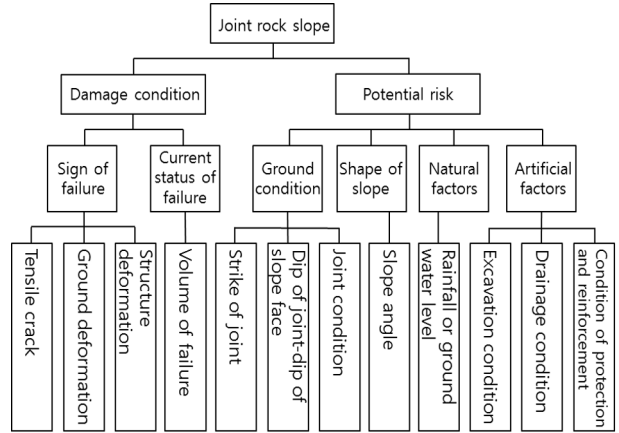


Fig. 3. Hierarchy structure of the evaluation factors for joint rock slope.

Table 4. Results used in AHP analysis

Factors	Weights
Tensile crack	0.156
Ground deformation	0.136
Structure deformation	0.126
Volume of failure	0.074
Strike of joint	0.073
Dip of joint - dip of slope face	0.071
Joint condition	0.063
Slope angle	0.049
Rainfall or ground water level	0.060
Excavation condition	0.034
Drainage condition	0.057
Condition of protection and reinforcement	0.103

항목 중에서 가중치가 가장 낮은 것으로 나타나 전문가 집단은 다른 항목에 비해 절취상태가 크게 중요하지 않다고 판단하는 것으로 나타났다.

##### 4.2 엔트로피 기법 가중치

점검 및 진단 자료에 기반한 객관적 가중치를 산정하기 위해 95개의 절리암반비탈면 점검자료를 활용하여 연구를 수행하였다. 95개의 현장별 상태평가 자료를 토대로 정규화 된 행렬을 구성한 후 정규화 된 값을 바탕으로 식(4)를 이용하여 각 속성별 엔트로피를 산정하였다. 엔트로피의 값을 산정시  $\log p_{ij}$ 는 정규화 된 값을 이용하여 산정해야 하며, 엔트로피 값을 산정하는데 필요한  $k=1/\log m$ 에서  $m$ 은 절리암반비탈면 개수가 되므로 95개에 대한 값은 0.505가 된다. 마지막으로 제시한 식(5)에서  $d_j=1-E_j$ 을 이용해 다양성의 정도를 고려함으로써 평가항목간 가중치  $w_j$ 를 산정하게 된다.

Table 5. Results used in entropy analysis

Factors	Weights
Tensile crack	0.129
Ground deformation	0.104
Structure deformation	0.096
Volume of failure	0.045
Strike of joint	0.098
Dip of joint - dip of slope face	0.072
Joint condition	0.036
Slope angle	0.056
Rainfall or ground water level	0.096
Excavation condition	0.07
Drainage condition	0.047
Condition of protection and reinforcement	0.153

엔트로피 분석 결과 Table 5에서 보는 바와 같이 보호 및 보강상태(0.153)가 가중치가 가장 높게 나타났으며, 인장균열(0.129), 지반변형(0.104)이 그 다음 높게 나타났다. 반면에 절리상태(0.036)는 다른 항목에 비해 가중치가 가장 작게 나타났다.

### 4.3 각 기법별 비교 · 분석

항목별 가중치에 대해 세부지침, AHP, 엔트로피 결과를 비교 · 분석해보면 Table 6과 같다.

AHP 분석 결과와 세부지침의 가중치를 비교해 보면 가중치가 다소 차이가 있는 것으로 나타났으나 인장균열의 경우에는 세부지침과 AHP 분석 결과에서 가중치가 가장 높은 것으로 나타났다. 한편 절취상태의 경우에는 세부지침에서 비교적 높은 가중치를 갖고 있으나 AHP 결과에서 가장 낮은 가중치를 갖는 것으로 나타났다. 엔트로피 분석 결과와 세부지침 가중치를 비교해 보면 세부지침에서 가중치가 높은 편에 속하는 인장균열, 절리주향, 보호 및 보강상태 등이 엔트로피 기법 결과에서도 높은 편으로 나타났으나 이외의 항목들은 가중치가 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. AHP 분석 결과와 엔트로피 분석 결과를 비교해 보면 AHP 결과에서 상위 50%에 속하는 6개 항목 중 발생규모를 제외한 인장균열, 지반변형, 구조물변형, 보호 및 보강상태, 절리주향이 엔트로피 결과에서도 상위 50%에 속하는 것으로 나타났고, 이외의 항목들은 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 각 분석 기법별 알고리즘 차이로 인해 가중치 순위가 다소 상이한 것으로 판단된다.

한편, 세부지침, AHP 기법, 엔트로피 기법의 가중치를 평균하여 종합 가중치를 산정한 결과, 인장균열, 보

Table 6. Comparison of weights

Factors	Existing standard	AHP	Entropy	Avg.
Tensile crack	0.132	0.156	0.129	0.139
Ground deformation	0.066	0.136	0.104	0.102
Structure deformation	0.066	0.126	0.096	0.096
Volume of failure	0.053	0.074	0.045	0.057
Strike of joint	0.105	0.073	0.098	0.092
Dip of joint - dip of slope face	0.105	0.071	0.072	0.083
Joint condition	0.105	0.063	0.036	0.068
Slope angle	0.053	0.049	0.056	0.053
Rainfall or ground water level	0.053	0.060	0.096	0.070
Excavation condition	0.105	0.034	0.07	0.070
Drainage condition	0.053	0.057	0.047	0.052
Condition of protection and reinforcement	0.105	0.103	0.153	0.120

호 및 보강상태, 지반변형, 구조물 변형, 절리주향, 절리경사-비탈면경사, 강우 및 지하수, 절취상태, 절리상태, 발생규모, 비탈면경사, 배수조건 순으로 나타났으며, 종합 가중치에서 가중치가 높게 나타난 인장균열, 보호 및 보강상태, 절리주향, 절리경사-비탈면경사 등의 항목들이 세부지침에서도 높은 가중치를 가지고 있어 이러한 결과는 대체적으로 합리적인 결과라 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 절리암반비탈면의 상태평가 항목에 대해 세부지침 가중치, 점검 및 진단 자료에 기반한 객관적 가중치, 전문가들의 경험적 근거에 기반한 주관적 가중치를 산정하여 상호간의 비교 · 분석을 수행하였고, 그 결론은 다음과 같다.

1) 주요 의사결정문제에서 널리 사용되고 있는 AHP 기법을 적용하여 가중치를 산정한 결과, 인장균열은 세부지침에서와 같이 가장 높은 가중치를 갖는 것으로 나타났으며, 세부지침에서 비교적 높은 가중치를 갖는 절취상태는 AHP 결과에서 가장 낮은 가중치를 갖는 것으로 나타났다.

2) 엔트로피 기법을 적용하여 95개의 절리암반비탈면 점검자료에 기반한 객관적 가중치를 산정한 결과, 보호 및 보강상태, 인장균열, 절리주향 등이 세부지침에서와 같이 가중치가 높은 것으로 나타났으나 타 항목들은 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

3) AHP 결과에서 상위 50%에 속하는 6개 항목 중 인장균열, 지반변형, 구조물변형, 보호 및 보강상태, 절

리주향이 엔트로피 결과에서도 상위 50%에 속하는 것으로 나타났는데, 이것은 세부지침에서도 가중치 높은 항목들로서 이러한 결과는 대체적으로 합리적인 결과라 판단된다.

4) 세부지침, AHP 기법, 엔트로피 기법의 가중치를 평균하여 종합 가중치를 산정한 결과, 인장균열, 보호 및 보강상태, 지반변형, 구조물 변형, 절리주향, 절리경사-비탈면경사, 강우 및 지하수, 절취상태, 절리상태, 발생규모, 비탈면경사, 배수조건 순으로 나타났다.

5) 향후 붕괴 가능성을 내포하고 있는 시설물들에 대한 분석을 통해 안전성에 직접적인 영향을 미치는 인자에 대한 가중치 분석이 필요할 것으로 판단된다.

**감사의 글:** 본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업(과제번호 16SCIP-B069989-04)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### References

- 1) Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, "Guidelines for Safety Inspection and In-depth Inspection", 2010.
- 2) L. -Y. Lee, N. -R. Kang, D. -G. Kim and H. -S. Kim, "Estimation and comparison of Weighting Factor for the Complex Risk Index of Natural Disasters Using Entropy Theory", Korean Society of Civil Engineers Annual Convention, pp. 980-983, 2012.
- 3) D. -E. Chang, H. -D. Jun, C. -W. Beak and J. -H. Kim, "Determination of Optimal Monitoring Locations for Water Distribution Systems based on Entropy Theory", Korean Society of Civil Engineers Annual Convention, pp. 3629-3632, 2008.

- 4) Y. -S. Cho, D. -K. Lee, H. Kim and M. -W. Jeon, "Determination of Stream Longitudinal Elevation from Entropy", Korean Society of Civil Engineers Annual Convention, pp. 2142-2147, 2003.
- 5) Y. -J. Lee, G. -A. Park and S. -J. Kim, "Analysis of Landslide Hazard Area using Logistic Regression Analysis and AHP Approach", The Korean Society of Civil Engineers, Vol.26, No.5D, pp. 861-867, 2006.
- 6) S. -Y. Jeong, W. -S. Choi and W. -J. Kim, "A Study on a Measure of Asset Management Information Systems for Highway Transportation Facilities using AHP", The Korean Society of Civil Engineers, Vol.30, No.6D, pp. 663-673, 2010.
- 7) J. -W. Ahn, Y. -S. Kim and S. -S. Kim, "A Case Study on the Selection of a Bridge Superstructure Type Using AHP Technique and LCC Concept", The Korean Society of Civil Engineers, Vol.21, No.5D, pp. 673-681, 2001.
- 8) D. -Y. Lee, J. -H. Seong, H. -S. Jeong and T. -K. Oh, "Analysis on the Current Evaluation items for the Performance-focused Management of the Concrete Retaining Wall", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.30, No.6, pp. 56-62, 2015.
- 9) T. L. Saaty, "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure." Journal of Mathematical Psychology, Vol.15, pp. 234-281, 1977.
- 10) T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, 1980.
- 11) R. Cooper, G. Madden, A. Lloyd and M. Schipp, "The Economics of Online Markets and ICT Networks", Physica-Verlag Heidelberg, New York, p.233, 2006.
- 12) M. W. Berry, Z. Drmac and E. R. Jessup, "Matrices, Vector Spaces, and Information Retrieval" SIAM Review, 41, pp.335-362, 1999.