

탐방로 재난 위험성 평가를 위한 위험지수 개발

곽재환¹ · 김홍균^{2*} · 김 열¹ · 김만일³ · 이문세⁴

¹산림조합중앙회 산림종합기술본부 산림공학연구소, 연구원

²산림조합중앙회 산림종합기술본부 산림공학연구소, 선임연구원

³산림조합중앙회 산림종합기술본부 산림공학연구소, 책임연구원

⁴산림조합중앙회 산림종합기술본부 산림공학연구소, 연구소장

Development of an Index for the Risk Assessment of Walking Trail

Jae Hwan Kwak¹ · Hong Gyun Kim^{2*} · Youl Kim¹ · Man-Il Kim³ · Moon Se Lee⁴

¹Forest Engineering Research Institute, Forest Technology Division, National Forestry Cooperative Federation (NFCF), Researcher

²Forest Engineering Research Institute, Forest Technology Division, National Forestry Cooperative Federation (NFCF), Senior Researcher

³Forest Engineering Research Institute, Forest Technology Division, National Forestry Cooperative Federation (NFCF), Research fellow

⁴Forest Engineering Research Institute, Forest Technology Division, National Forestry Cooperative Federation (NFCF), Director

Abstract

A walking trail environment can be divided into the upper part of the trail, the trail itself, and the lower part of the trail. In this study, based on field investigations, we developed a risk index for trails by considering human/societal factors that affect each of these three trail environments. A checklist was developed for field investigations, and checklist items were scored through relative importance analysis. The relative weights of items were analyzed using the AHP (Analytic Hierarchy Process) technique, revealing that the upper environment of a trail is twice as important as the rest of the environment. The importance and score of items belonging to each environment were determined. We define the risk index as the sum of the item scores. Weights were added using data from existing investigations including landslides risk rating and designated risk steep slopes. The risk index has a maximum value of 200, and the maximum and minimum calculated scores of 335 risk sections were 159 and 64.2, respectively. As a result of comparative analysis between field observations and risk index calculations, most sections at relatively low risk had risk values less than 100, and sections with high risks or that had been the site of accident yielded scores that exceeded 140.

Keywords: trail, risk index, field investigation, relative weight, AHP

초 록

탐방로의 전체적인 환경은 크게 탐방로 상부, 탐방로 자체, 탐방로 하부로 나누어진다. 본 연구에서는 현장조사를 기반으로 하여 3가지의 탐방로 환경과 인문/사회 요인을 결합하여 탐방로 위험지수를 개발하였다. 탐방로 현장조사를 위해 체크리스트를 개발하였으며, 체크리스트 항목들은 상대적인 중요도 분석 과정을 거쳐 점수화 되었다. 항목들의 상대비중 분석은 AHP 기법을 활용하였다. AHP 분석 결과, 탐방로 상부 환경이 나머지 환경들에 비해 2배 중요한 것으로 나타났으며, 각 환경들에 속한 항목들의 중요도 및 배점이 정해졌다. 위험지수는 항목들의 총합으로 계산되었으며, 기초사 자료를 이용한 가중치가 더

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Hong Gyun Kim
E-mail: 99pnu80@naver.com

Received: 29 May, 2018

Revised: 22 June, 2018

Accepted: 26 June, 2018

© 2018 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

해졌다. 위험지수는 총점 200점으로 설정하였으며, 최대 159점, 최소 64.2점으로 산출되었다. 현장 상황과 위험지수의 비교 분석 결과, 위험성이 낮은 구간은 대부분 100점 이하의 값을 보였으며, 위험성이 매우 높거나 사고이력을 가지는 구간은 140점을 초과하는 것으로 나타났다.

주요어: 탐방로, 위험지수, 현장조사, 상대비중, AHP

서론

국립공원, 자연휴양림, 기타 공원시설 등에는 이용객의 편의를 위한 탐방로가 구성되어 있다. 탐방로는 편리한 탐방이 이루어질 수 있도록 조성된 것이나 지형적 특성에 따른 여러 가지 위험성에 항상 노출되어 있다. 탐방로 내 가장 대표적인 위험요소로는 탐방로 상부 급경사지로부터 발생할 수 있는 낙석 및 산사태를 들 수 있다. 설악산에서는 2015년과 2016년 흘림골 탐방로에서 대규모 낙석에 의한 인명 및 시설물 피해가 발생하였으며, 2014년에는 북한산 인수봉 낙석에 의한 인명피해와 치악산 낙석에 의한 시설물 피해가 발생한 바 있다. 탐방로에서의 낙석 피해에 대비하기 위한 급경사지 실태조사 및 체계적 유지관리체계 구축은 2012년 국립공원관리공단에서 처음으로 시도한 바 있으며, 이와 관련된 연구도 수행된 바 있다(Kim et al., 2016).

탐방로 내 위험요소는 탐방로 상부 급경사지 외에도 탐방로 자체의 요철 및 경사, 탐방로 내 추락위험지, 탐방로 하부의 계곡 범람 등 다양하다. 실제 국립공원 탐방로에서는 탐방로 자체의 요철 및 고경사에 의한 부상, 심장돌연사 등의 안전사고가 빈번하게 발생하고 있으며, 추락과 하천범람에 의한 고립 등의 사고도 발생하고 있다.

본 연구에서는 탐방로 상부에 해당하는 급경사지를 포함하여 탐방로 자체, 탐방로 하부 등 탐방로의 전체적인 환경을 대상으로 종합적인 복합 재난 위험성을 평가하는 방법에 대해 고찰하였다. 탐방로의 전체적인 위험성 평가는 Kim (2014)에 의해 설악산국립공원을 대상으로 연구된 바 있으며, 이 연구에서는 GIS를 이용한 지형분석, 사면안정해석(SinMap 활용), 재해이력 분석 등 3가지 방법을 융합하여 탐방로 위험성을 평가하였다. 본 연구에서는 기존 방법과는 달리 현장조사를 기반으로 하여 탐방로 모든 환경에서의 위험성을 아우를 수 있는 평가를 시도하였으며, 평가를 위한 위험지수 산정 방식을 제안하였다. 위험지수의 산정은 통계학적 방법인 AHP 기법을 활용하여 최대한 정량적인 접근을 시도하고자 하였다.

탐방로의 종합적 위험성 개요

탐방로의 지형적 환경은 크게 탐방로 상부, 탐방로 자체, 탐방로 하부로 나눌 수 있다. 탐방로 상부는 낙석 및 산사태가 대표적인 재해가 될 수 있으며, 탐방로 상부 지형의 형상, 경사, 높이, 수리특성, 풍화상태, 불연속면 특성 등이 위험인자로 작용할 수 있다. 탐방로 자체의 위험요인으로는 탐방로 폭, 탐방로 경사, 요철 상태, 추락 위험, 탐방로 유실 및 침식 등을 들 수 있으며, 이들의 상태에 따라 심장돌연사, 체력고갈 및 부상으로 인한 조난 등의 발생 가능성(또는 위험성)을 평가할 수 있다. 탐방로 하부는 탐방로 하부 지반의 침식 및 유실에 의한 탐방로 지반의 약화, 하천이 존재할 경우 계곡수에 의한 범람 가능성 등이 위험요인으로 작용할 수 있다.

상기와 같은 탐방로 실제 위험환경 외에도 인문/사회 환경을 탐방로 종합 위험성 평가에 고려할 수 있다. 인문/사회 환경은 탐방객 빈도, 탐방로의 난이도, 안전사고 이력구간 유무 등을 주요 위험요인으로 포함시킬 수 있다. 특히, 탐방객 빈도는 피해도와 연관이 있는 것으로 위험도가 타 지역에 비해 낮을지라도 많은 탐방객이 이용하는 탐방로는 위험성이 높은 쪽으로 무게를 두어야 할 필요가 있다. 또한 탐방로 난이도가 높은 구간은 고립, 부상 등의 발생 가능성이 상대적으로 높으므로 위험성 평가에 반영되어야 할 것이며, 안전사고이력 구간 역시 사고 재발 가능성에 기인하여 위험성 평가에 반영될

수 있다. 이와 같이 탐방로의 종합적 위험성은 탐방로 상부, 탐방로 자체, 탐방로 하부, 그리고 인문/사회 환경 등 총 4가지 영역을 포괄하는 의미이며, 탐방로 주변 위험환경 분석 모식도는 Fig. 1과 같다.

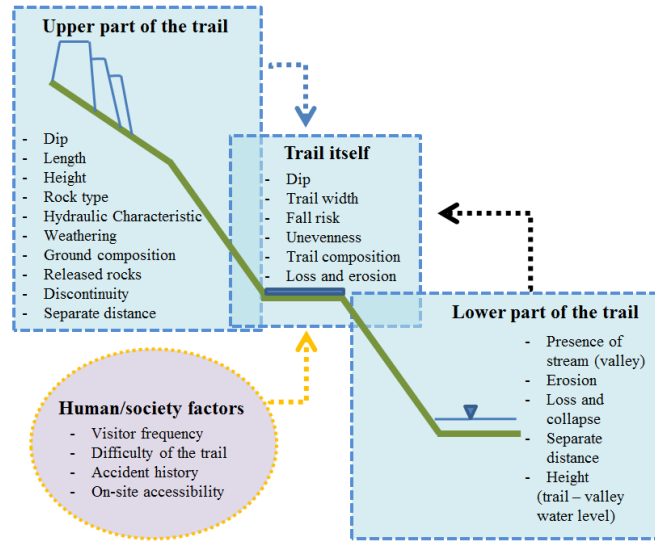


Fig. 1. Schematic diagram showing risk factors of the environment around a trail.

현장조사

본 연구에서는 탐방로 위험지수 산정 기법 개발을 위해 북한산, 도봉산, 설악산, 주왕산, 월출산 등 5개 국립공원을 대상으로 선정하였다(Fig. 2). 조사 체크리스트는 탐방로 상부, 탐방로 자체, 탐방로 하부 위험요소의 현장 상황과 인문/사회 요인을 종합적으로 기재하기에 적합하도록 고안하였으며, 간략화 및 객관화를 통해 추후 점수화의 편의성을 확보하고자 하였다. 본 연구에서 최종적으로 개발된 탐방로 위험성 평가 체크리스트는 Fig. 3과 같다.



Fig. 2. Location of the study area, comprising five parks.

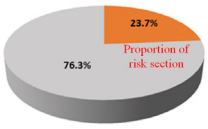
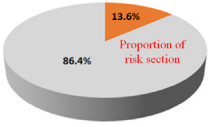
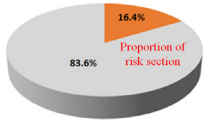
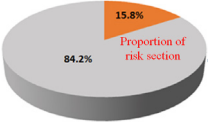
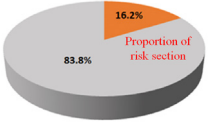
Organization/Investigator				Communication		impossible possible					
Date		y.	m.	d.	Weather		☀ ☁ ☂ ☃ ☄				
Investigation information of dangerous section	Section CODE (detailed location)		Length (m)		* Thunderstroke possibility		①No ②Yes				
	GPS	Start point	Latitude	°	'	''	End point	Latitude	°	'	''
			Longitude	°	'	''		Longitude	°	'	''
	Rockfall Risk	①No ②Yes	Location of Released Rock		①Upper ②Middle ③Lower	Slanted (risk) Tree		①No ②Yes			
	Height (m)	①<5 ②5~14 ③15~24 ④25~34 ⑤35~50 ⑥>50						* Necessity of further investigation of slopes	①Need ②Unneeded		
	Dip	①<34° ②34~43° ③44~53° ④54~63° ⑤64~73° ⑥>73°									
	Volume of released rock (㎥)	①<3 ②3~8 ③9~15 ④16~30 ⑤>30									
	Shape of discontinuity	* Coincidence * Parallel * Reverse * None * Multi-directional joints									
	Weathering	①F ②SW ③MW ④HW ⑤CW ⑥RS									
	Hydraulic condition	①Dry ②Damp ③Wet ④Dripping ⑤Flowing									
	History of rockfall	①No ②Yes	Volume of rockfall (㎥)		①<1 ②1~3 ③3~5 ④5~10 ⑤>10						
	Collapse/loss of surface soil	①No ②Yes	Width of collapse/loss (m)		①<1.0 ②1~2 ③2~5 ④5~10 ⑤>10						
			Depth of collapse/loss (m)		①<0.3 ②0.3~0.8 ③0.8~1.2 ④1.2~2.0 ⑤>2.0						
	Separation distance from the trail (m)		①0 ②0.1~0.5 ③0.6~1.0 ④1.1~2.0 ⑤2.1~3.0 ⑥>3.0								
	Presence of valleys	①No ②Yes	Width of valleys (m) :		①>3 ②2~3 ③1~2 ④<1		Risk of debris flow		①high ②normal ③low		
Unevenness	①Flat (0~5cm) ②Slightly rough (5~15cm) ③Rough (15~30cm) ④Very rough (>30cm)										
Trail itself	Fall risk of visitors		①No ②Yes	Fall prevention facility		①No ②Yes		Condition	①Good ②Normal ③Bad		
	Trail width (m)		(min) ~ (max)	Facility types							
	Difficulty of feeling (reflecting the slope and unevenness)		①Very easy ②Easy ③Normal ④Difficult ⑤Very difficult								
	Loss and scour in trail		①No ②Yes	Water outflow in loss and scour area		①No ②Yes					
Lower	Presence of stream (valley)	①No ②Yes	Presence of valley water		①No ②Yes	Height (trail - valley water level)		___ ~ ___ m			
	Erosion		①No ②Yes	Valley type		①Parallel or similar to the trail ②Across the trail					
Human/society factors	Visitor frequency in the section (people)		①0 ②1~5 ③6~10 ④11~20 ⑤>20								
	On-site accessibility (reach time, minutes)		①Within 30 ②30~60 ③60~120 ④120~180 ⑤More than 180								
	Visitors ranking of parks		①More than 16th ②13~15th ③10~12th ④7~9th ⑤4~6th ⑥1~3th								
	Authorized difficulty rating of the trail		①Very easy ②Easy ③Normal ④Difficult ⑤Very difficult								
	Accident history		①No ②Yes								
Investigator opinion	Proposed countermeasures		Subjective hazard rating		Concern Caution Dangerous Very dangerous						

Fig. 3. Checklist developed for field investigations.

현장조사는 5개 공원 법정 탐방로 전 구간을 대상으로 하였으며, 육안조사를 중심으로 수행되었다. 조사자는 기존의 취약 구간 및 사고이력 구간을 미리 숙지한 뒤 탐방로 내 위험요소가 관찰되는 구간을 선정하고 해당 구간을 대상으로 체크리스트를 작성하는 방식으로 현장조사를 실시하였다. 위험구간은 탐방로 상부에서 낙석 및 토석류의 위험성이 인지되는 구간, 탐방로 자체가 매우 급경사를 이루거나 요철이 심하여 탐방객의 안전사고가 우려되는 구간, 그리고 탐방로 하부 계곡이 존재할 시 범람에 의한 피해가 우려되는 구간 등이 확인되는 구간을 대상으로 선정되었다. 탐방로 내 3가지 환경 중 하나라도 위험요소가 확인되면 위험구간 선정 대상으로 고려하였다. 현장조사 결과, 설악산이 위험구간으로 선정된 구간

수가 111개로 가장 많았으며, 전체 탐방로 연장 대비 위험구간의 연장 비율도 23.7%로 가장 높은 것으로 나타났다. 나머지 4개 공원은 13.6~16.4%의 위험구간 비율을 보였으며, 월출산은 위험구간 수가 23개로 가장 적은 것으로 확인되었다. 현장조사를 통해 분석된 대상 국립공원의 위험구간 연장 비율과 구간 수는 Table 1과 같다.

Table 1. Number and length proportions of risk sections for each park

Parks	The number of the identified risk sections	(A) Total length of the trail (km)	(B) Length of the risk section (km)	Proportion (B/A)
Seoraksan	111	110	26	
Bukhansan	84	130	17.6	
Dobongsan	60	88	14.4	
Juwangsan	57	71	11.2	
Wolchulsan	23	26	4.2	

탐방로 위험지수 산정 기법 개발

위험지수 산출 항목 및 공식 제안

위험지수 산출 항목은 조사 체크리스트에서 탐방로 상부, 탐방로 자체, 탐방로 하부, 인문/사회 요인에 속해 있는 주요 항목들 중 위험성 평가에 점수화될 수 있는 항목들이 우선적으로 추출되었다. 본 연구에서 만들어진 조사 체크리스트는 실제 탐방로 위험성을 평가하기 위해 필요한 항목들을 집약하고 선별하는 과정을 거쳤기 때문에 체크리스트 내 항목들은 대부분 위험지수 점수화를 위해 사용되었으며, 일부 항목들은 연관성과 유사성을 고려하여 통폐합되어 선별되었다 (Table 2).

위험지수 산출 항목은 탐방로 상부 12개, 탐방로 자체 6개, 탐방로 하부 3개, 인문/사회 요인 5개 등 총 26개로 정하였다. 최종적인 위험지수 계산은 각 항목에 대한 점수를 모두 합산하는 방식을 택하였으며, 본 연구에서 제안하는 위험지수 공식은 식 (1)과 같다.

$$I_i(\text{위험지수}) = A + B + C + D + (\alpha + \beta) \tag{1}$$

- A : 탐방로 상부 위험요소
- B : 탐방로 자체 위험요소
- C : 탐방로 하부 위험요소
- D : 인문/사회 요인
- α (가중치 1) : 위험구간 내 산사태 위험성 반영 점수(국립공원연구원 조사 내용 활용)
- β (가중치 2) : 위험구간 내 기 급경사지 조사 현장 유무(국립공원관리공단 자료 활용)

위험구간 내 산사태 위험성이 높거나, 기 조사된 급경사지 현장이 존재할 경우는 가중치 α 와 β 를 추가로 합산하여 최종적인 위험지수가 계산되도록 하였다. 기초사 급경사지는 낙석 위험성이 상대적으로 높은 현장을 조사한 것이므로 유무에 따른 가중치를 적용하였다.

Table 2. Items extracted from trail environments for calculating the risk index

Classification according to environment		Items for calculating risk index
A	Upper part of the trail	Presence and location of released rocks
		Volume of released rocks
		Slanted (risk) Tree
		Height
		Dip
		Shape of discontinuity
		weathering
		Hydraulic condition
		History and volume of rockfall
		Collapse/loss of surface soil
B	Trail itself	Separation distance from the trail
		Risk of debris flow
		Unevenness
		Trail width
		Difficulty of feeling
		loss and scour in trail
C	Lower part of the trail	Water outflow in loss and scour area
		Fall risk of visitors
		Erosion
		Flooding possibility
D	Human/society factor	Valley type
		Visitor frequency in the section
		On-site accessibility
		Visitors ranking of parks
		Authorized difficulty rating of the trail
		Accident history

AHP 기법 개요

제안된 공식을 통해 위험지수를 계산하기 위해서는 Table 2의 각 항목들에 대한 적절한 배점이 부여되어야 한다. 위험요소를 점수화시키기 위한 노력과 시도들은 지금까지 주로 급경사지(비탈면)를 대상으로 이루어진 바 있다. 국토교통부는 도로비탈면의 투자우선순위를 산정하기 위해 위험도와 피해도를 점수화 하였으며(KICT, 2002, 2003, 2010), 행정안

전부(전 국민안전처)는 급경사지의 위험요소들을 점수화 하여 재해위험도평가를 실시하고 있다.

본 연구에서는 탐방로 위험요소 항목들의 배점 결정을 위한 최대한의 정량적 근거를 마련하고자 통계학적 방법인 AHP (Analytic Hierarchy Process)를 활용하였다. AHP 기법은 한명 혹은 여러 명의 의사결정자가 참여하는 다기준 (multiple-criteria) 의사결정 방법으로서 자료가 완비되지 않은 여건 하에서의 계획수립, 시간적으로 촉박한 상황에서의 의사결정 지원, 조직간 의견 대립 상황 하에서 종합적인 대응방안 수립 등 복잡한 문제에 부딪혔을 때 문제의 속성을 체계적(systematic), 계층적(hierarchy)으로 규명하여 문제를 정형화하고 단 시간 내에 최상의 결정을 수립하기 위한 방법이다. 즉, 여러 가지 대안들 중 상대적으로 중요한 것을 결정하는 것으로서, 본 연구에서는 탐방로 내 위험요소 항목들의 상대적 중요도를 분석하여 점수화 근거 자료로 활용하였다. AHP는 우선 문제 정의 및 설문지 조사를 수행하고 쌍대비교 (pairwise comparison)를 통해 상대비중을 분석하는 과정으로 진행된다. 최종적으로는 일관성 지수 계산을 통해 신뢰성 검증 단계를 거치게 된다(Fig. 4). AHP 기법은 사업우선순위 선정, 도로의 노선 선정, 공법 선정을 위한 가중치 분석 등에 활용된바 있으며(Yang et al., 2002; Lee, 2005; Pyo, 2004), 산사태 유발인자 분석과 급경사지 재해 취약성 평가표 개발 연구 등에도 활용되었다(Yang et al., 2001; Chae et al., 2009).

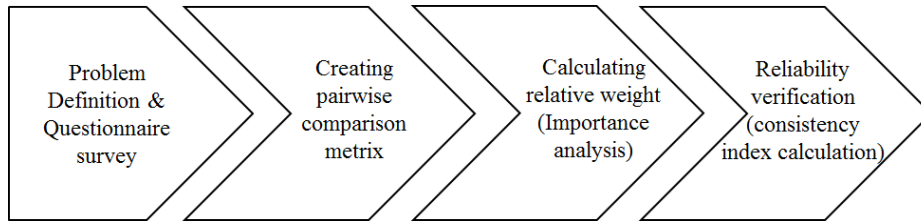


Fig. 4. Analytical process with the AHP technique.

위험지수 항목의 상대비중 계산

설문지는 총 5개의 대분류, 100개 문항으로 구성되었으며(탐방로 전체 환경 4개 항목/6문항, 탐방로 상부 요소 12개 항목/66문항, 탐방로 자체 요소 6개 항목/15문항, 탐방로 하부 요소 3개 항목/3문항, 인문/사회 요인 5개 항목/10문항), 전문가 집단 32명이 설문에 응답하였다.

설문지 결과를 이용하여 쌍대비교행렬 분석을 실시한 결과, 우선 탐방로 전체 환경에서는 탐방로 상부 환경이 위험성 평가에 있어서 나머지 3개 환경에 비해 2배 더 중요한 것으로 나타났다(Table 3). 탐방로 상부 위험요인에 대한 AHP 분석

Table 3. Calculation of the relative weights of three environments around the trail and human/societal factor using pairwise comparison matrices.

	Upper part of the trail	Trail itself	Lower part of the trail	Human/society factor	Upper part of the trail	Trail itself	Lower part of the trail	Human/society factor	Relative weight
Upper part of the trail	1	3	2	2	0.429	0.500	0.400	0.400	0.4
Trail itself	1/3	1	1	1	0.143	0.167	0.200	0.200	0.2
Lower part of the trail	1/2	1	1	1	0.214	0.167	0.200	0.200	0.2
Human/society factor	1/2	1	1	1	0.214	0.167	0.200	0.200	0.2
Total	2.33	6.00	5.00	5.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Table 5. Calculation of relative weights of risk factors observed from the trails themselves

	Unevenness	Trail width	Difficulty of feeling	Loss and scour in trail	Water outflow in trail	Fall risk of visitors	Unevenness	Trail width	Difficulty of feeling	Loss and scour in trail	Water outflow in trail	Fall risk of visitors	Relative weight
Unevenness	1	1	1	3	3	2	0.240	0.176	0.231	0.200	0.225	0.343	0.236
Trail width	1	1	1/2	3	3	1	0.240	0.176	0.115	0.200	0.225	0.171	0.188
Difficulty of feeling	1	2	1	2	3	1	0.240	0.353	0.231	0.133	0.225	0.171	0.226
Loss and scour in trail	1/3	1/3	1/2	1	1/3	1/2	0.080	0.059	0.115	0.067	0.025	0.086	0.072
Water outflow in trail	1/3	1/3	1/3	3	1	1/3	0.080	0.059	0.077	0.200	0.075	0.057	0.091
Fall risk of visitors	1/2	1	1	3	3	1	0.120	0.176	0.231	0.200	0.225	0.171	0.187
Total	4.17	5.67	4.33	1500	13.33	5.83	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Table 6. Calculation of relative weights of risk factors observed from the lower parts of the trails

	Erosion	Flooding possibility	Valley type	Erosion	Flooding possibility	Valley type	Relative weight
Erosion	1	1	2	0.400	0.429	0.333	0.387
Flooding possibility	1	1	3	0.400	0.429	0.500	0.443
Valley type	1/2	1/3	1	0.200	0.143	0.167	0.170
Total	2.50	2.33	6.00	1.000	1.000	1.000	1.000

Table 7. Calculation of the relative weights of human/societal factors

	Visitor frequency in the section	On-site accessibility	Visitors ranking of parks	Authorized difficulty rating of the trail	Accident history	Visitor frequency in the section	On-site accessibility	Visitors ranking of parks	Authorized difficulty rating of the trail	Accident history	Relative weight
Visitor frequency in the section	1	2	3	1	3	0.316	0.250	0.462	0.250	0.353	0.326
On-site accessibility	1/2	1	1	1/2	1/2	0.158	0.125	0.154	0.125	0.059	0.124
Visitors ranking of parks	1/3	1	1	1	2	0.105	0.125	0.154	0.250	0.235	0.174
Authorized difficulty rating of the trail	1	2	1	1	2	0.316	0.250	0.154	0.250	0.235	0.241
Accident history	1/3	2	1/2	1/2	1	0.105	0.250	0.077	0.125	0.118	0.135
Total	3.17	8.00	6.50	4.00	8.50	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

위험지수 항목의 배점 결정

상대비중을 이용한 항목별 최대 배점을 계산하기 위해 위험지수 총점을 결정하였다. 위험지수 총점은 200점 만점으로 설정하였으며, 탐방로 전체 환경에 대한 AHP 분석 결과에 따라 탐방로 상부 환경에 80점을 배정하고 나머지 환경들에는 각각 40점씩을 부여하였다. 현장 상황에 따라 탐방로 하부가 존재하지 않는 경우는 탐방로 상부와 탐방로 자체 점수에 일정 가중치를 곱하여 중요도 비율을 고려한 총점을 유지시켰다. 반대로 탐방로 상부가 존재하지 않는 경우에도 탐방로 자체와 탐방로 하부 점수에 일정 가중치를 곱하여 총점을 유지하였다(Table 8). 이는 탐방로 상부 또는 하부가 없는 환경에

서 위험성이 충분히 인지되는 구간을 대상으로도 일정 수준의 위험지수가 산출될 수 있도록 하기 위함이다. 계산된 상대 비중 값에 탐방로 환경 별 총점을 곱하여 산출된 위험지수 항목의 최대 배점은 Table 9와 같으며, 각 항목별 배점 범위는 Table 10과 같이 결정되었다. 탐방로 내 위험구간 별 위험지수 값은 상기 제안된 공식과 Table 10을 이용하여 계산 가능하다.

Table 8. Determination of the total risk score, considering AHP results and the trail environment

1) Trail with both upper and lower parts

Division	Total score	Proportion	
Upper part of the trail	80	40%	80%
Trail itself	40	20%	
Lower part of the trail	40	20%	
Human/society factor	40	20%	
Sum	200	100%	

2) Trail with no lower part

Division	Original total score	× weighting	Converted total score	Proportion
Upper part of the trail	80	1.33	107	80%
Trail itself	40	1.33	53	
Lower part of the trail	40	-	0	
Human/society factor	40	-	40	20%
Sum	200		200	100%

3) Trail with no upper part

Division	Original total score	× weighting	Converted total score	Proportion
Upper part of the trail	80	-	0	80%
Trail itself	40	2.0	80	
Lower part of the trail	40	2.0	80	
Human/society factor	40	-	40	20%
Sum	200		200	100%

Table 9. Determination of the maximum score of each item by using relative weights and conversion coefficients (scores for each trail environment)

Division	Risk items	Relative weight	Conversion coefficient	Maximum score
Upper part of the trail	location of released rocks	0.109	× 80	9
	Volume of released rocks	0.104		8
	Slanted Tree	0.039		3
	Height	0.100		8
	Dip	0.088		7
	Shape of discontinuity	0.098		8
	Weathering	0.078		6
	Hydraulic condition	0.063		5
	History and volume of rockfall	0.084		7
	Collapse/loss of surface soil	0.079		6
	Separation distance	0.100		8
	Risk of debris flow	0.058		5

Table 9. (Continued)

Division	Risk items	Relative weight	Conversion coefficient	Maximum score
	Sub total			80
Trail itself	Unevenness	0.236	× 40	9
	Trail width	0.188		8
	Difficulty of feeling	0.226		9
	Loss and scour in trail	0.072		3
	Water outflow in the trail	0.091		4
	Fall risk of visitors	0.187		7
	Sub total			40
Lower part of the trail	Erosion	0.387	× 40	15
	Flooding possibility	0.443		18
	Valley type	0.170		7
	Sub total			40
Human/society factor	Visitor frequency in the section	0.326	× 40	13
	On-site accessibility	0.124		5
	Visitors ranking of parks	0.174		7
	Authorized difficulty rating of the trail	0.241		10
	Accident history	0.135		5
	Sub total			40

Table 10. Scores assigned to ranges of assessment items for calculating the risk index of each trail

Location of released rocks	None	Lower	Middle	Upper		
	0	3	6	9		
Volume of released rocks	<3 m ³	3~8 m ³	9~15 m ³	16~30 m ³	>30 m ³	
	3	4	5	7	8	
Slanted Tree	No	Yes				
	0	3				
Height	<5 m	5~14 m	15~24 m	25~34 m	35~50 m	>50 m
	1	3	4	6	7	8
Dip	<34°	34~43°	44~53°	54~63°	64~73°	>73°
	2	3	4	5	6	7
Shape of discontinuity	None	Reverse	Parallel	Multi-directional		Coincidence
	2	4	2	7		8
Weathering	F	SW	MW	HW	CW	RS
	1	2	4	5	6	6
Hydraulic condition	Dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing	
	1	3	4	5	5	
History and volume of rockfall	None	<1 m ³	1~3 m ³	3~5 m ³	5~10 m ³	>10 m ³
	0	3	4	5	6	7

Table 10. (Continued)

Collapse/loss of surface soil	No	Yes				
	0	6				
(width)	<1.0 m	1~2 m	2~5 m	>5 m		
	0.5	1	2	3		
(depth)	<0.3 m	0.3~0.8 m	0.8~1.2 m	>1.2 m		
	0.5	1	2	3		
Separation distance	>3 m	2.1~3.0 m	1.1~2.0 m	0.6~1.0 m	0.1~0.5 m	None
	1	2	4	6	7	8
Risk of debris flow	No value	Low	Normal	High		
	0	1	3	5		
Unevenness	Flat (0~5 cm)	Slightly rough (5~15 cm)		Rough (15~30 cm)	Very rough (>30 cm)	
	1	4		7	9	
Trail width	>2 m	1.0~2.0 m		0.5~1.0 m	<0.5 m	
	1	3		6	8	
Difficulty of feeling	Very easy	Easy	Normal	Difficult	Very difficult	
	1	3	5	7	9	
Loss and scour in trail	No	Yes				
	0	3				
Water outflow in the trail	No	Yes				
	0	4				
Fall risk	No	Yes				
	0	7				
Erosion / loss	No	Yes				
	0	15				
Flooding possibility	No valley water	Low	Normal	High		
	1	6	12	18		
Valley type	Parallel or similar to the trail			Across the trail		
	2			5		
Visitor frequency in the section (people)	0	1~5	6~10	11~20	>20	
	1	4	7	10	13	
On-site accessibility (minutes)	Within 30	30~60	60~120	120~180	More than 180	
	1	2	3	4	5	
Visitors ranking of parks	More than 16th	13~15th	10~12th	7~9th	4~6th	1~3th
	1	2	3	5	6	7
Authorized difficulty rating of the trail	Very easy	Easy	Normal	Difficult	Very difficult	
	1	2	5	8	10	
Accident history	No	Yes				
	0	5				

*weight α : high risk of landslides (+5) , Very high risk of landslides (+10)

*weight β : There is 1 investigated slope within the section (+3)

There are 2 or more investigated slopes within the section (+5)

탐방로 위험지수 산출 결과

5개 공원 탐방로에서 선정된 위험구간에 대한 위험지수 계산 결과, 최소 64.2점에서 최대 159.0점의 분포를 보이는 것으로 나타났으며, 평균값은 113.4점으로 산출되었다. 위험지수는 100~130점 사이에서 가장 많이 집중되었으며 대체로 정규분포를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 5).

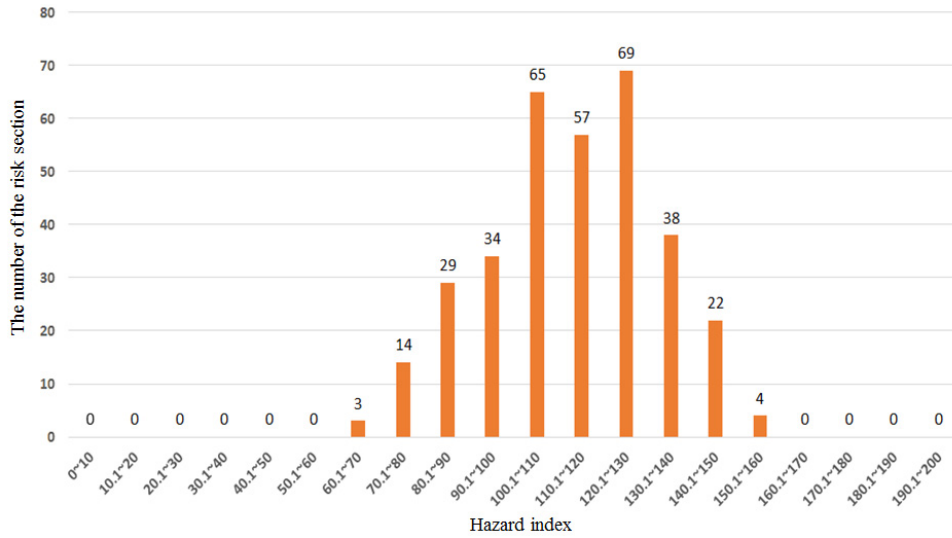


Fig. 5. Histogram showing the results of risk index calculations for all five parks.

각 공원 별로 위험지수의 분포현황을 분석한 결과, 설악산은 5개 공원 전체 위험지수 분포(Fig. 5)와 매우 유사한 형태의 분포 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 북한산과 도봉산은 120~130점의 분포가 가장 우세한 것으로 나타났으며, 특히 다른 국립공원에 비해 130점 이상의 위험지수 분포 비율이 높은 것으로 분석되었다. 주왕산은 90~110점의 분포가 매우 우세하게 나타났으며, 월출산은 70~90점의 분포가 우세한 것으로 분석되어 타 공원에 비해 위험지수가 낮게 산출되었다 (Fig. 6).

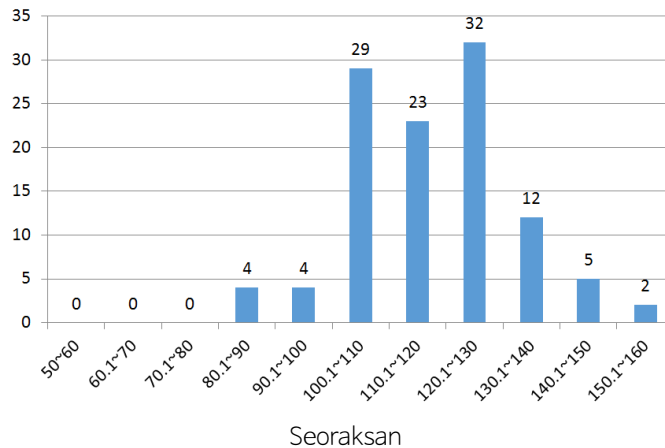


Fig. 6. Results of risk index calculations for each park.

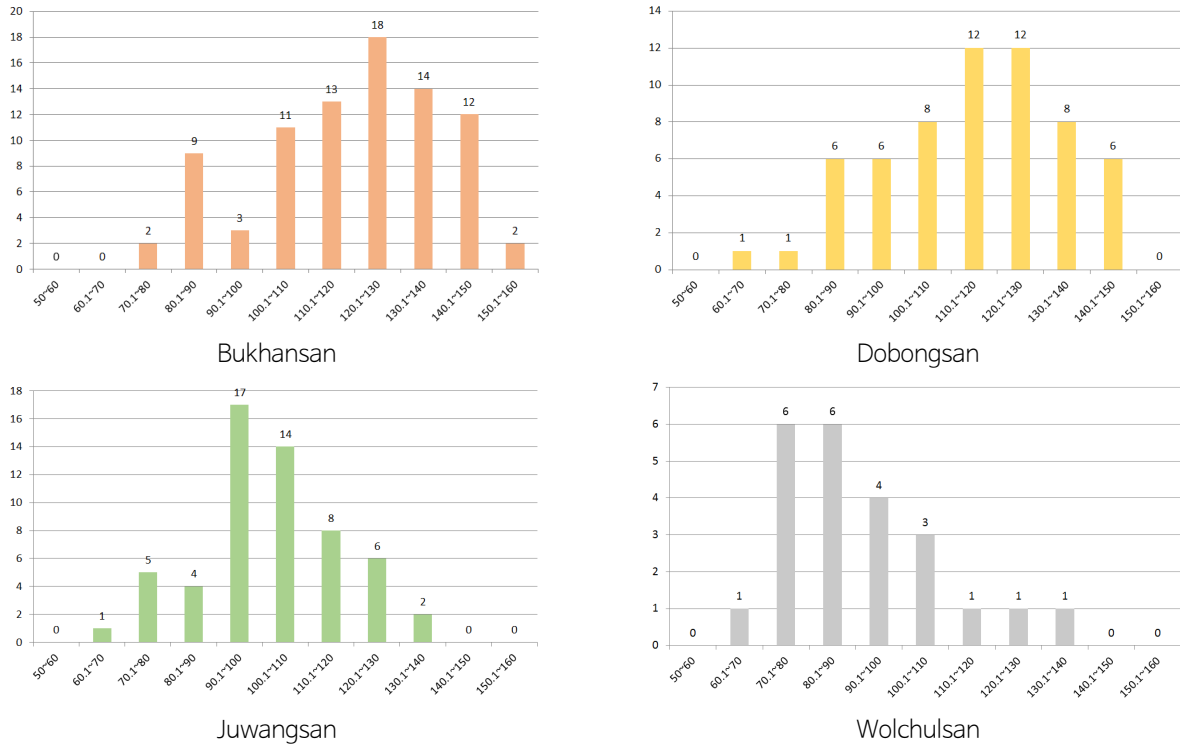


Fig. 6. (Continued).

탐방로 현장 상황과 위험지수 계산 결과를 비교 분석한 결과, 100점 이하인 경우는 탐방로 내 일부 위험요소가 존재하나 비교적 위험성이 낮고 시급한 정비가 필요하지 않은 구간이 대부분인 것으로 나타났다. 한편, 120점을 초과하는 경우는 위험징후에 의한 예상피해도가 높아 정비계획 수립이 필요한 상태였으며, 특히 140점을 초과하는 경우는 위험성이 심각하여 긴급한 정비계획 수립 또는 유사 시 탐방객 통행 제한을 고려해야 하는 탐방로 구간이 대다수를 차지하는 것으로 나타났다. 실제 설악산 흘림골 낙석 사망사고 구간은 150.0점, 도봉산 Y계곡 구간은 148.7점의 위험지수가 산출되었다. Table 11과 Fig. 7은 설악산 흘림골(위험구간 코드: 설악08-T01-01) 사고이력 구간에 대한 위험지수 산정 결과 및 현장사진을 나타낸 것이다.

또한 120점을 초과하는 다수의 탐방로 구간은 현재까지 사고이력이 보고된 구간, 위험성에 대한 탐방객 민원이 자주 제기된 구간, 연구팀의 현장조사 시 위험요소가 명확히 인지된 구간 등을 포함하는 것으로 나타났다.

이를 토대로 본 연구에서는 위험지수 범위에 따라 총 4가지의 등급을 제안하였다. 위험지수 100이하는 “관심(Concern)”, 100초과 120이하 “주의(Caution)”, 120초과 140이하 “위험(Dangerous)”, 140초과 “매우위험(Very dangerous)”으로 정의하였다.

설악산 탐방로를 대상으로 위험지수에 따른 4가지 등급을 적용시킨 결과, 비선대-양쪽대피소(천불동 계곡), 무너미고개~나한봉(공룡능선), 금강문-십이폭포, 백담분소-영시암, 남교리공원지킴터~두문폭포 구간 등이 위험성이 높은 탐방로인 것으로 나타났다(Fig. 8). 천불동 계곡은 수려한 자연 경관과 함께 낙석의 위험성이 매우 높은 구간으로 이미 널리 알려진 탐방코스이며, 공룡능선은 설악산에서도 탐방 난이도가 매우 높고 이에 따른 탐방로 자체 위험성이 매우 높은 구간으로 정평이 나 있다. 금강문-십이폭포 구간은 2015년, 2016년 두 차례의 대형 낙석으로 인명 피해가 발생한 탐방로이며, 추가 낙석 위험성이 매우 높아 현재 출입이 통제된 상태이다.

Table 11. Sample calculation of the risk index using the Heullimgol section in Seoraksan

Division	Items	Score	Sub-sum
Upper part of the trail	location of released rocks	9	64
	Volume of released rocks	5	
	Slanted Tree	3	
	Height	7	
	Dip	5	
	Shape of discontinuity	7	
	Weathering	5	
	Hydraulic condition	3	
	History and volume of rockfall	7	
	Collapse/loss of surface soil	5	
	Separation distance	8	
Trail itself	Risk of debris flow	0	36
	Unevenness	9	
	Trail width	8	
	Difficulty of feeling	9	
	Loss and scour in trail	3	
	Water outflow in the trail	0	
Lower part of the trail	Fall risk of visitors	7	23
	Erosion	15	
	Flooding possibility	6	
Human/society factor	Valley type	2	19
	Visitor frequency in the section	1	
	On-site accessibility	2	
	Visitors ranking of parks	6	
	Authorized difficulty rating of the trail	5	
Weight	Accident history	5	8
	α	5	
	β	3	
Total sum			150



Fig. 7. Field photograph of the Heullimgol section (accident section) in Seoraksan. (A) Dangerously situated rocks observed from the upper part of the trail. (B) Rockfall observed from the lower part of the trail.

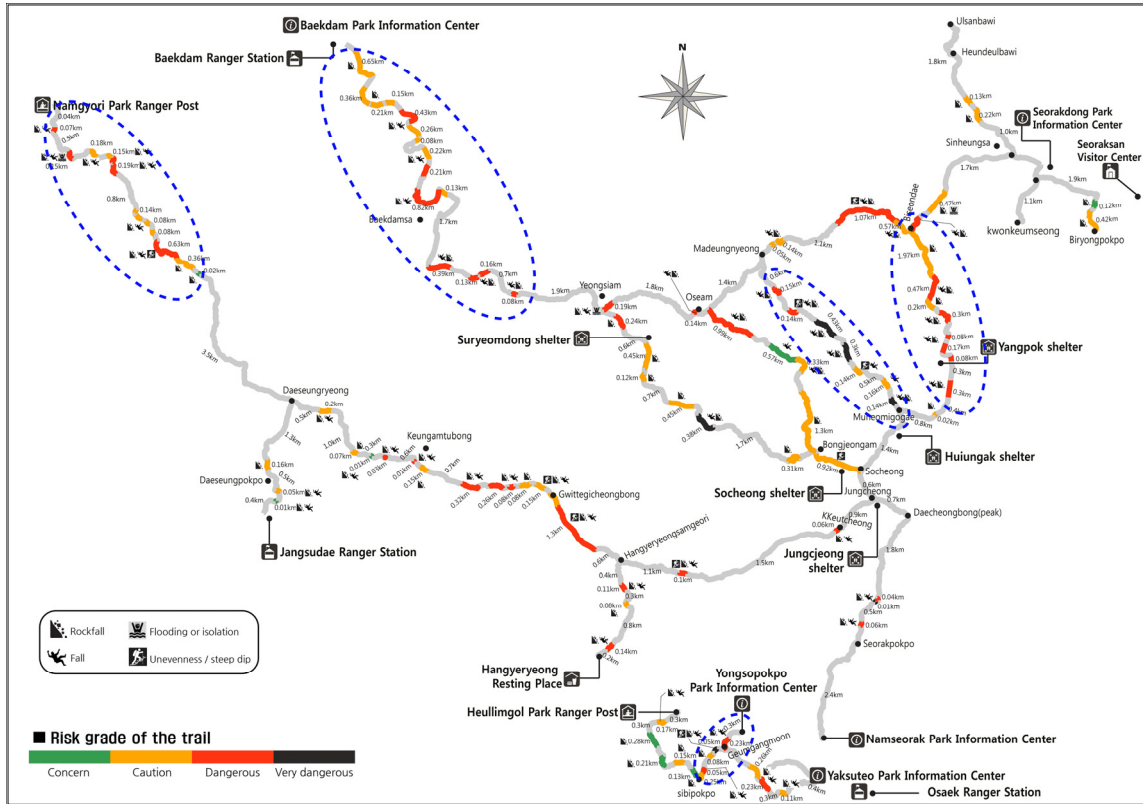


Fig. 8. Trail map showing the risk grade at Seoraksan. The dotted circle indicates the section of high danger.

토의

본 연구에서는 탐방로 주변 환경을 고려하여 통합적인 재난 위험성 평가 개념의 위험지수 산정 공식을 제안하였다. 자연의 위험성을 정량화 하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 따라서 여러 연구자들은 여러 가지 자연재해의 위험도와 피해도를 객관화 시키고, 최대한의 신뢰성을 확보한 정량화를 위해 노력하고 있다.

본 연구에서는 현장조사 기반으로 탐방로 위험성을 정량적으로 평가하고자 하였으나, 현장조사 자체가 일부 정성적이고 주관적인 판단이 가미될 여지가 있으므로 문제점이 제기될 수 있다. 우선, 탐방로 내 위험구간을 선정하는 기준이 조사자들 주관적 판단에 따라 상이할 수 있다. 당초 위험구간 선정 기준을 통일시키고 여러 조사자의 눈높이를 일정 수준으로 맞춘다 할지라도 실제 현장에서 체감적으로 느끼는 위험 정도는 다를 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안된 위험지수 산출 방법이 다수의 연구자에게 효과적으로 활용되기 위해서는 위험구간 선정의 객관적 지표 정립에 대한 지속적인 노력이 필요할 것으로 판단된다.

시범 대상지를 통한 위험지수 산출 결과, 위험지수가 100~130점 사이에 집중적으로 편중되어 나타난다. 이는 점수간의 변별력이 떨어지는 것으로 해석될 수 있으며, 신뢰성 문제 제기로 이어질 여지가 있다. 이와 관련하여 본 연구에서 제안된 4개의 위험지수 등급 범위도 향후 개선 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다. 예컨대, 등간격의 점수 분포로 위험 정도가 등급화 되는 것이 가장 효과적이며 정량적으로 보일 수 있다. 그러나 탐방로 환경은 대부분 유사한 형태와 특성을 보인다는 점을 감안할 때 여러 가지 한계점이 드러났다. 이를 해결하기 위해서는 다양한 탐방로 조사 자료의 빅데이터 구축, 조사 체크리스트의 세분화, 위험요소 항목들의 중요도 재평가, 위험성을 반영할 수 있는 추가적인 가중치 연구 등이 지속적

으로 이루어져야 할 것이다. 또한 현장조사를 기반으로 하되 해당구간에 적합한 안정성 해석을 실시하여 그 결과를 정량적인 지표로 활용한다면 보다 신뢰도 높은 탐방로 위험지수가 개발될 것으로 기대한다.

사사

본 연구는 행정안전부 극한 재난대응 기반기술개발사업의 연구비 지원(2017-MOIS31-001)에 의해 수행되었습니다.

References

- Chae, B.G., Cho, Y.C., Song, Y.S., Seo, Y.S., 2009, Development of an Evaluation Chart for Landslide Susceptibility using the AHP Analysis Method, *Journal of Engineering Geology*, 19(1), 99-108 (in Korean with English abstract).
- KICT, 2002, Development and operation of road cut slope management system IV, 302 (in Korean).
- KICT, 2003, Development and operation of road cut slope management system in 2002, 302 (in Korean).
- KICT, 2010, Development and operation of road cut slope management system in 2009, 336 (in Korean).
- Kim, H.G., Kim, T.H., Kim, J.H., Kwak, J.H., Park, S.W., Choi, S.W., Song, Y.K., 2016, Maintenance of Hazardous Steep Slopes on National Park Trails, *Journal of Engineering Geology*, 26(1), 129-142 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.C., 2014, Study on Safety Management of National Park Visitor through the trail course risk assessment – Focusing on trail course of Seorak National Park -, Master Thesis, Kangwon National University, 1-65p (in Korean with English abstract).
- Lee, S.W., 2005, A Study on Decision Making for Port Remodelling in Korea Applied on Analytic Hierarchy Process, *Journal of Korea Planners Association*, 40(4), 59-71 (in Korean with English abstract).
- Pyo, Y.M., 2004, Study on the Analysis of Factors Decreasing Construction Labor-Productivity using AHP Method, Master Thesis, Donggeui University, 1-110p (in Korean with English abstract).
- Yang, I.T., Kim J.C., Chun, K.S., Kim, D.M., 2001, Analysis of Landslide Factors Using Geo-Spatial Information System and Analytic Hierarchy Process, *Journal of the Korean Society of Surveying*, 19(3), 273-281 (in Korean with English abstract).
- Yang, I.T., Kim, D.M., Choi, S.P., 2002, The Quantification Research of Multi-Factors for Route Determination Using AHP Technique, *Journal of the Korean Society of Surveying*, 20(2), 199-206 (in Korean with English abstract).