The Journal of Engineering Geology, Vol.19, No.1, March, 2009, pp. 99-108

AHP 분석기법을 이용한 급경사지재해 취약성 평가표 개발

채병곤[1]* · 조용찬[1] · 송영석[1] · 서용석[2]

[1]한국지질자원연구원 지구환경연구본부
[2]충북대학교 지구환경과학과

Development of an Evaluation Chart for Landslide Susceptibility using the AHP Analysis Method

Byung-Gon Chae[1]*, Yong-Chan Cho[1], Young-Suk Song[1], and Yong-Seok Seo[2]

[1]Geologic Environment Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources
[2]Depart. of Earth and Environmental Sciences, Chung Buk National University

기존의 급경사지재해 평가방법은 현장조사를 기반으로 하여 일정 과정의 실내분석이 실시된 후 그 결과를 도출하기 때문에, 현장에서 즉각적인 평가결과를 도출하기 어려운 점이 있었다. 이러한 문제점과 기존의 주관적 평가방법에서 발생하는 평가결과의 오차를 줄이기 위해 본 연구에서는 현장에서 직접 관련요소를 조사하고 이를 토대로 급경사지재해 취약성을 객관적으로 평가할 수 있는 방법을 개발하고자 노력하였다. 이를 위해 응용통계기법의 하나인 AHP 분석을 이용하여 급경사지재해 취약성 평가표를 개발하였는데, 이는 전문가 설문을 통한 AHP 분석 방법의 결과를 이용해 수행한 것으로서, 각 평가항목과 평가항목별 세부등급에 대한 가중치를 각각 설정하였다. 평가항목들의 가중치를 100점으로 환산하여 점수화한 결과 사면경사가 가장 높은 중요도를 보이고, 투수계수, 함수비, 공극율, 암질, 그리고 고도의 순서로 결정되었다. 이렇게 결정된 평가항목별 점수를 기준으로 평가항목 각각의 세부등급에 대한 점수를 할당하여 급경사지재해 취약성 평가표를 개발하였다. 급경사지재해 취약성 평가표를 이용하여 평가자는 평가대상 지점에 대해 각 평가항목별 해당 속성, 즉 세부등급을 선택하고, 선택된 각 속성별 평가점수를 더하면 급경사지재해 취약성을 점수로 파악할 수 있다.

주요어 : 급경사지재해, AHP 분석, 평가항목, 가중치, 취약성 평가표

Since the preexisting evaluation methods of landslide susceptibility take somehow long time to determine the slope stability based on the field survey and laboratory analysis, there are several problems to acquire immediate evaluation results in the field. In order to overcome the previously mentioned problems and incorrect evaluation results induced by some subjective evaluation criteria and methods, this study tried to develop a method of landslide susceptibility by a quantitative and objective evaluation approach based on the field survey. Therefore, this study developed an evaluation chart for landslide susceptibility on natural terrain using the AHP analysis method to predict landslide hazards on the field sites. The AHP analysis was performed by a questionnaire to several specialists who understands mechanism and influential factors of landslide. Based on the questionnaire, weighting values of criteria and alternatives to influence landslide triggering were determined by the AHP analysis. According to the scoring results of the analysed weighting values, slope angle is the most significant factor. Permeability, water contents, porosity, lithology, and elevation have the significance to the landslide susceptibility in a descending order. Based on the assigned scores of each criterion and alternatives of the criteria, an evaluation chart for landslide susceptibility was suggested. The evaluation chart makes it possible for a geologist to evaluate landslide susceptibility with a total score summed up each alternative score.

Key words : landslide susceptibility, AHP analysis, evaluation criteria, weighting value, evaluation chart for susceptibility

*Corresponding author: bgchae@kigam.re.kr

서 론

최근 우리나라는 전 지구적 기후변화와 관련하여 하절기에 기록적인 집중호우가 거의 매년 발생하고 있으며, 이에 동반하여 과거에 경험하지 못한 엄청난 규모의 급경사지재해가 반복적으로 발생하고 있다. 급경사지재해는 특히 2000년대에 접어들어 발생빈도와 규모가 더욱 증가하고 있으며, 이로 인한 인간생활권의 피해규모도 과거에 비해 훨씬 커지는 추세이다.

이와 같은 급경사지재해의 피해를 저감하기 위해 최근 15년간 국내에서는 과학기술부, 건설교통부, 소방방재청, 산림청 등을 중심으로 급경사지재해에 관련한 연구가 수행되었다. 이 중 과학기술부와 산림청은 자연사면 산사태의 예측에 관한 연구를 주로 수행하였으며, 2005년부터 소방방재청이 재해와 관련한 업무를 총괄하면서 후속 연구를 수행 중이다. 특히, 산림청은 "산사태 위험지 판정표"를 개발하여 자연사면에서 발생하는 산사태를 예측하고자 노력하였다. 이 판정표는 사면의 기하형태, 모암, 토심, 임상 등의 인자를 기준으로 각 인자의 급간에 따라 값을 설정하고, 이들 값의 합에 따라 산사태의 발생가능성을 평가하는 것이다. 기본적으로 산정된 점수를 바탕으로 5개 항목에 대한 점수보정을 실시하여 최종적인 산사태 발생가능성을 산정하게 된다. 이 판정표는 지질학 또는 지반공학적인 전문지식이 없더라도 산사태의 가능성을 비교적 쉽게 평가할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 전국을 대상으로 짧은 시간에 산사태 발생가능성을 평가할 수 있다. 그러나, 이 판정표는 기본적으로 산사태 물질인 토층의 지질학적·토질역학적 특성이 고려되어 있지 않다. 또한, 점수보정 항목 중 일부는 조사자의 주관이 크게 개입될 가능성이 있는 항목이 있으며, 이럴 경우 평가결과에 오류가 발생할 수도 있을 것으로 생각된다.

이와 같은 상황을 토대로 이 연구에서는 자연사면을 중심으로 한 급경사지재해를 현장에서 신속하고 정확히 평가할 수 있는 방법을 개발하고자 하였다. 기존에 개발된 대부분의 평가기법은 현장조사 결과를 토대로 실내에서 일정 과정의 작업을 거쳐 최종적인 재해 발생가능성을 산정할 수 있는 것으로서, 수일 간의 작업소요 시간이 요구된다. 그러나, 최근의 급경사지재해는 예측불허의 상황에서 급박하게 변화하는 기상조건 및 이에 수반된 급경사지 지질특성변화에 의해 발생하므로, 재해의 발생가능성을 신속하게 판단하는 것이 요구된다. 또한, 신속한 판단과 동시에 정확하고 신뢰성 있는 평가결과를 도출하여 효율적인 피해저감이 이루어 져야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 기존 급경사지재해 평가기법을 탈피하여 객관적인 평가기준 정립과 이를 통한 정확하고 신속한 급경사지재해 피해평가를 위해 응용통계기법을 이용하여 급경사지재해의 발생요인을 분석하고, 이 요인별 속성 값의 등급을 구분한 후, 이를 토대로 최종적인 급경사지재해 평가가 가능하도록 새로운 판정표를 개발하였다. 이 판정표는 AHP 분석기법을 동원하여 새롭게 개발한 것으로서, 이를 통해 급경사지재해 피해평가를 위한 인자의 선정 및 인자별 급간 값의 설정을 객관적으로 할 수 있다. 이와 같은 응용통계적 기법을 이용한 지질특성의 분석은 급경사지 뿐만 아니라, 터널의 안정성 평가에도 다양하게 활용되고 있으며(Liu and Chen, 2007; 서용석 외, 2005; 양인태 외, 2001), 이와 같은 방법을 통해 과거와는 차별화된 객관적 분석결과를 바탕으로 한 지질안정성 해석이 가능해 질 것으로 기대된다.

AHP 분석을 통한 급경사지 취약성 분석방법

다기준 의사결정 기법의 하나인 AHP는 Analytic Hierarchy Process의 약자로 Saaty(1980)에 의해 개발된 이후 급속히 보급되어, 현재 여러 분야의 의사결정문제에 성공적으로 적용되고 있다. 이 기법은 종합적 목표(overall goal)를 달성하기 위해 고려해야 할 기준들(criteria)의 상대적 가중치와 각 기준에 있어서 대안들(alternatives)의 상대적 가중치를 결정한 뒤 이들을 곱한 평점의 합을 비교하여 대안들 간의 종합적 우선순위를 평가하는 방법이다(Satty, 1980; 김상훈과 최점기, 2007). Satty에 의해 1960년대에 처음으로 연구된 후 계속 발전해 온 이 기법은 달성해야 할 목표, 의사결정을 위한 여러 가지 기준 및 선택해야 할 대안들로 구성된 계층적 구조를 통해 복잡한 문제에 대한 최적의사결정을 모색할 수 있도록 하는 의사결정지원시스템이라고 말할 수 있다. AHP의 3대 주요 기능으로는 복잡한 상황의 구조화, 비율척도를 통한 우선순위(가중치) 도출, 통합 및 논리적 일관성 검증이 있는데 이 기능들에 따라 적용단계가 나누어지게 된다(Belton and Stewart, 2002; Johnson and Wichern, 1998; 김영문, 1988).

AHP 모형의 설정 및 쌍대비교표 개발

급경사지 붕괴 피해평가에 고려될 주요 평가항목들은 사면경사(slope angle)를 비롯한 6개 항목으로서 항목의 내역과 계층구조는 Fig. 1과 같다. 이들 6개 항목의 선정과 항목내의 범위(등급 구간) 선정은 채병곤 외(2004)와 한국지질자원연구원(2004)이 수행한 로지스틱 회귀분석을 통한 산

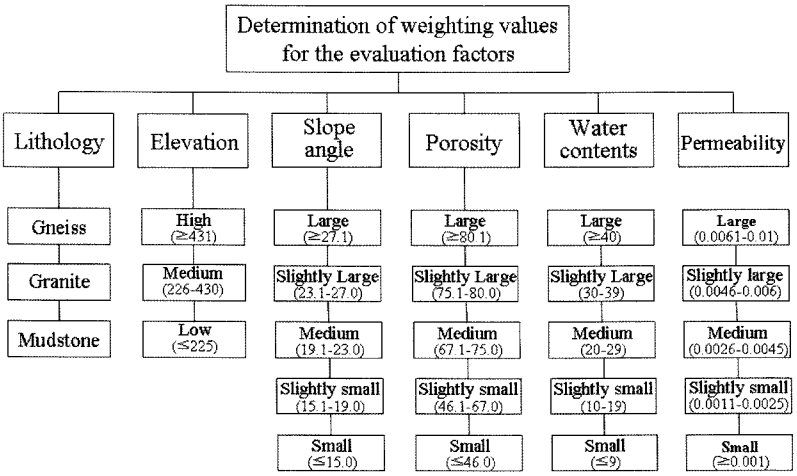

Fig. 1. Hierarchy structure of the evaluation factors for landslide susceptibility.

사태 영향인자 선정의 결과를 바탕으로 본 연구에서 그동안 수집한 산사태 지질 및 지형자료와 토질특성 자료에 대한 수량화 분석과 전문가의 의견을 종합적으로 고려하여 이루어졌다. 제시된 평가항목들은 AHP 분석의 평가기준(evaluation criteria)에 해당되는 것으로 각 평가항목들 간의 관계를 고려했을 때 Fig. 1과 같은 계층구조로 도식화 할 수 있다.

위의 계층구조에서는 최상위 계층에 '급경사지 취약성 평가에 대한 평가항목별 가중치 도출'이라는 최종목표를 설정하였으며, 6개의 평가항목(암질, 고도, 사면경사, 공극율, 함수비, 투수계수)을 "기준(criteria)" 계층에 두었고 각각의 평가항목에 따른 세부등급들을 "대안(alternative)" 계층에 두었다. 따라서 급경사지 붕괴 피해평가에 대한 AHP 분석모형은 2계층 모형으로 "기준(criteria)"이 3개, 각 기준에 따른 "대안(alternative)"이 26개인 비교대상 항목으로 구성된 것으로 나타났다.

Fig. 1의 계층구조에서 제시된 급경사지 붕괴 피해평가에 대한 평가항목과 세부등급들 간의 상대적 중요도를 계산하기 위하여 쌍대비교 설문을 개발하였다(한국지질자원연구원, 2008). 이중 평가항목들 간의 상대적 중요도 분석을 위한 쌍대비교설문을 예시적으로 제시하면 Table 1과 같다. 즉 Table 1은 Fig. 1의 "기준(criteria)" 계층에 속하는 6가지의 평가항목들 간의 상대적 중요도를 구하기 위한 쌍대비교표로서, 두 개의 비교대상항목인 평가항목들 간의 상대적인 중요도를 전문가가 평가하고 이를 수치적인 자료로 변환할 수 있도록 해 주는 측정도구이다. 평가항목에 대한 세부등급들 간의 쌍대비교설문도 비교항목의 내용만 다를 뿐 Table 1과 동일한 형태를 취한다.

분석절차

선정된 전문가 집단 9명을 대상으로 급경사지 붕괴 피해평가에 대한 AHP 분석은 Fig. 2와 같은 절차를 통해 이루어 졌으며, 통계프로그램 R version 2.6.2를 이용해 분석을 수행하였다(김이유 외, 2005). Fig. 2에서 알 수 있듯이 분석절차는 총 5단계로 이루어져 있으며 전체 전문가 응답자들 중 일관성 비율이 0.2이하인 응답자들은 분석에서 제외하게 된다.

응답자별 평가항목에 대한 쌍대비교 수치를 이용해 개인별 쌍대비교행렬을 작성하였는데, 이를 이용해 응답자 개인별로 생각하는 평가항목별 상대적 중요도를 계산하고 개인별 중요도 수치를 하나로 통합하여 전체응답자가 생각하는 평가항목별 상대적 중요도를 산정할 수 있다. 그러나 개인별로 응답한 평가항목별 쌍대비교수치에 논리적인 일관성이 결여되어 있는 경우 이를 이용해 산출한 개인별 상대적 중요도나 이를 통합한 전체응답자의 상대적 중요도 계산에 잘못된 영향을 미치게 되므로 개인별 응답의 논리적 일관성을 판정하기 위한 일관성 비율(consistency ratio)을 산출한다(Fig. 2). 일반적으로 0.1 이하의 기준을 적용할 경우 합리적인 평가, 0.2이하일 경우에는 허용할 수 있는 평가라고 본다(김영문, 1998). 본 연구에서는 탐색적인 성격의 AHP 분석이라는 점과 평가기준이 2계층에 걸쳐 구성되어 있는 만큼 다른 연구 상황에 비해 쌍대비교 해야 할 항목이 많다는 점을 고려하여 일관성 비율을 0.2이하로 설정해 응답자들의 일관성을 확인하였다. 전문가 9명 모두 일관성 비율 0.2이하를 만족하였으므로 이들 개인별 의견을 하나로 통합시키는 작업을 수행한다.

Table 1. An example of questionnaire for evaluation of relative significance of each evaluation factor.

Factors	Lithology	Elevation	Slope Angle	Porosity	Water Contents	Permeability
Factor No.	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6

Questions	Very significant (5)	(4)	Significant (3)	(2)	Equal (1)	(1/2)	Not significant (1/3)	(1/4)	Never significant (1/5)
How more significant is Factor 1 than Factor 2?									
How more significant is Factor 1 than Factor 3?									
⋮									
How more significant is Factor 3 than Factor 6?									
How more significant is Factor 4 than Factor 5?									
How more significant is Factor 4 than Factor 6?									
How more significant is Factor 5 than Factor 6?									

일반적으로 다수 전문가들의 가중치 종합화를 위한 방법으로 기하평균을 이용하여 종합적인 가중치를 산정한다. 따라서 일관성 비율 0.2이하의 기준을 통과한 9명의 의견들을 하나로 통합하기 위해 개인별 쌍대비교행렬들을 이용해 통합적 기하평균행렬을 산출한다. 이렇게 산출된 통합적 기하평균행렬을 이용해 급경사지 붕괴 피해평가

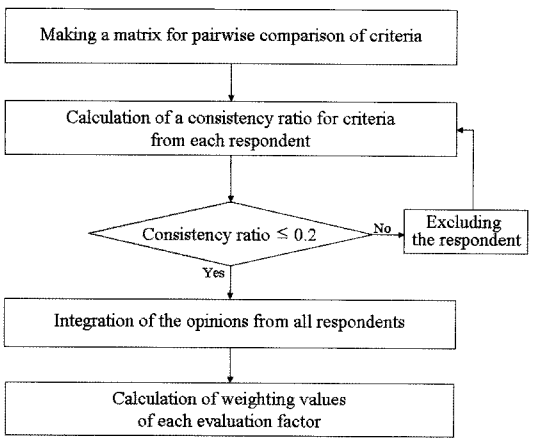

Fig. 2. Procedure of AHP method for the evaluation of landslide susceptibility.

항목별 가중치를 계산할 수 있다. 이런 과정을 거쳐 급경사지 붕괴 피해에 중점적인 영향을 미치는 항목과 세부등급을 확인할 수 있다.

AHP 분석결과와 평가표 개발

AHP 분석 결과에 따른 개별 평가항목별 세부등급들의 가중치

급경사지 붕괴 피해평가에 대한 평가항목 6개의 가중치를 살펴보면 Table 2와 같다. 전문가 9명 중 일관성 비율이 0.1 이하인 사람이 7명, 0.2 이하인 사람이 2명으로 모든 전문가들의 설문응답에 대한 일관성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 개인별 의견을 하나로 통합시키는 작업을 수행하였고 그 결과 사면경사(slope angle)가 31.0%로 가장 높은 가중치를 기록하였으며, 이어서 투수계수(permeability)가 20.4%의 수치로 높게 나타났다. 이것은 사면경사가 다른 평가항목들에 비해 상대적으로 중요도가 높다는 것을 뜻한다. 전체 전문가들의 의견을 종합한 후 일관성 비율(CR)을 살펴본 결과, 그 값이 0.016으로 논리적 일관성이 충분히 존재한다고 볼 수 있다.

한편, 정량적 급경사지 붕괴 취약성 평가를 위해 각

Table 2. Weighting values of evaluation factors for landslide susceptibility.

Criteria / Respondents	Lithology	Elevation	Slope Angle	Porosity	Water Contents	Perme-ability	CR
Respondent 1	0.077	0.054	0.135	0.112	0.256	0.367	0.092
Respondent 2	0.324	0.133	0.314	0.075	0.095	0.059	0.051
Respondent 3	0.052	0.099	0.379	0.137	0.166	0.166	0.161
Respondent 4	0.083	0.221	0.297	0.096	0.094	0.210	0.025
Respondent 5	0.079	0.053	0.358	0.121	0.189	0.201	0.101
Respondent 6	0.199	0.063	0.334	0.102	0.154	0.148	0.082
Respondent 7	0.108	0.056	0.366	0.115	0.154	0.200	0.035
Respondent 8	0.086	0.225	0.359	0.057	0.113	0.160	0.069
Respondent 9	0.076	0.039	0.139	0.171	0.226	0.349	0.054
All respondents	0.110	0.092	0.310	0.115	0.168	0.204	0.016

Table 3. Weighting values of subordinate factors of the lithology.

Alternatives / Respondents	Granite	Gneiss	Mudstone	CR
Respondent 1	0.106	0.260	0.633	0.033
Respondent 2	0.200	0.600	0.200	0.000
Respondent 3	0.429	0.429	0.142	0.000
Respondent 4	0.411	0.261	0.328	0.046
Respondent 5	0.400	0.400	0.200	0.000
Respondent 6	0.539	0.297	0.164	0.008
Respondent 7	0.250	0.250	0.500	0.000
Respondent 8	0.123	0.557	0.320	0.016
Respondent 9	0.250	0.250	0.500	0.000
All respondents	0.292	0.384	0.324	0.016

평가항목별 세부등급에 대한 가중치를 설정하였다. 먼저, 암질(lithology)의 세부등급들에 대한 가중치를 살펴보면 Table 3과 같다. 전문가 9명 중 일관성 비율이 0.1 이하인 사람이 9명으로 모든 전문가들의 설문응답에 대한 일관성이 높은 것으로 나타났다. 개인별 의견을 하나로 통합시키는 작업을 수행한 결과 편마암(Gneiss)이 38.4%로 가장 높은 가중치를 기록하였으며, 이암(Mudstone)이 32.4%의 수치로 높게 나타났다. 이것은 편마암이 다른 세부등급들에 비해 상대적으로 중요도가 높다는 것을 뜻한다. 전체 전문가들의 의견을 종합한 후 일관성 비율(CR)을 살펴본 결과, 그 값이 0.016으로 논리적 일관성이 충분히 존재한다고 볼 수 있다.

고도(elevation)의 세부등급들에 대한 가중치는 Table 4와 같다. 전문가 9명 중 일관성 비율이 0.1 이하인 사람이 6명, 0.2 이하인 사람이 2명, 그리고 0.2 이상인 사람이 1명으로 모든 전문가들의 설문응답에 대한 일관성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 일관성 비율이 0.2 이상인 전문가 4의 의견은 제외시킨 후 개인별 의견을 하나로 통합시키는 작업을 수행하였고 그 결과 높음(431 이상)이 47.8%로 가장 높은 가중치를 기록하였으며, 중간(226~430)이 36.1%의 수치로 높게 나타났다. 전체 전문가들의 의견을 종합한 후 일관성 비율은 0.047로 논리적 일관성이 충분하다고 볼 수 있다.

사면경사(slope angle)의 세부등급들에 대한 가중치는 Table 5와 같다. 전문가 9명 중 일관성 비율이 0.1 이하인 사람이 8명, 0.2 이하인 사람이 1명으로 모든 전문가들의 설문응답에 대한 일관성이 높은 것으로 나타났다. 개인별 의견의 통합작업을 거친 결과 큼(27.1이상)이 39.1%로 가장 높은 가중치를 보이며, 약간 큼(23.1~27.0)이 24.7%로 높게 나타났다. 이것은 큼(27.1이상)이 다른 세부등급들에 비해 상대적으로 중요도가 높다는 것을 뜻한다. 전체 전문가들의 의견을 종합한 후 일관성 비율을 살펴본 결과, 그 값이 0.006으로 논리적 일관성이 충분히 존재하는 것으로 판단된다.

Table 4. Weighting values of subordinate factors of the elevation.

Respondents \ Alternatives	High (≥ 431 m)	Medium (226 m~430 m)	Low (≤ 225 m)	CR
Respondent 1	0.624	0.267	0.109	0.192
Respondent 2	0.681	0.201	0.118	0.021
Respondent 3	0.589	0.252	0.159	0.046
Respondent 4	0.598	0.249	0.153	0.481
Respondent 5	0.156	0.620	0.224	0.094
Respondent 6	0.539	0.297	0.164	0.008
Respondent 7	0.525	0.334	0.141	0.046
Respondent 8	0.594	0.297	0.109	0.119
Respondent 9	0.200	0.600	0.200	0.000
All respondents	0.478	0.361	0.161	0.047

Table 5. Weighting values of subordinate factors of the slope angle.

Respondents \ Alternatives	Large (≥ 27.1°)	Slightly large (23.1°~27.0°)	Medium (19.1°~23.0°)	Slightly small (15.1°~19.0°)	Small (≤ 15.0°)	CR
Respondent 1	0.421	0.266	0.149	0.086	0.078	0.008
Respondent 2	0.447	0.247	0.165	0.076	0.066	0.068
Respondent 3	0.418	0.264	0.128	0.126	0.064	0.021
Respondent 4	0.418	0.263	0.162	0.085	0.072	0.014
Respondent 5	0.405	0.308	0.133	0.092	0.062	0.025
Respondent 6	0.407	0.267	0.129	0.129	0.068	0.029
Respondent 7	0.414	0.269	0.174	0.072	0.069	0.069
Respondent 8	0.094	0.076	0.133	0.239	0.457	0.146
Respondent 9	0.435	0.210	0.157	0.112	0.086	0.015
All respondents	0.391	0.247	0.155	0.113	0.094	0.006

공극율(porosity)의 세부등급들에 대한 가중치 분석결과는 Table 6과 같다. 전문가 9명 중 일관성 비율이 0.1 이하인 사람이 8명, 0.2 이하인 사람이 1명으로 모든 전문가들의 설문응답에 대한 일관성이 높은 것으로 나타났다. 개인별 의견통합 수행 결과 큼(80.1이상)이 38.5%로 가장 높은 가중치를 기록하였고, 약간 큼(75.1~80.0)이 24.9%로 높게 나타났다. 전체 전문가들의 의견을 종합한 후 일관성 비율이 0.003으로 논리적 일관성이 존재하는 것으로 판단된다.

함수비(water contents)의 세부등급들에 대한 가중치는 Table 7과 같다. 전문가 9명 중 일관성 비율이 0.1 이하인 사람이 9명으로 모든 전문가들의 설문응답에 대한 일관성이 높은 것으로 나타났다. 개인별 의견의 통합 결과 큼(40이상)이 42.3%로 가장 높은 가중치를 기록하였으며, 약간 큼(30~39)이 25.6%로 높게 나타났다. 전체 전문가들의 의견을 종합한 후 일관성 비율(CR)을 살펴본 결과, 그 값이 0.014로 논리적 일관성이 충분히 존재한다고 볼 수 있다.

투수계수(permeability)의 세부등급들에 대한 가중치를 살펴보면 Table 8과 같다. 전문가 9명 중 일관성 비율이 0.1 이하인 사람이 8명, 0.2 이하인 사람이 1명으로 모든 전문가들의 설문응답에 대한 일관성이 높은 것으로 나타났다. 개인별 의견을 하나로 통합시키는 작업을 수행하였고 그 결과 큼(6.1×10^{-3} cm/sec~1.0×10^{-2} cm/sec)이 26.6%로 가장 높은 가중치를 나타냈으며, 약간 큼(4.6×10^{-3} cm/sec~6.0×10^{-3} cm/sec)이 22.3%로 높게 나타났다. 전체 전문가들의 의견을 종합한 후 일관성 비율이 0.005로 논리적 일관성이 충분히 존재하는 것으로 판단된다.

급경사지재해 취약성 평가표

AHP 분석은 종합적 목표를 달성하기 위해 고려해야 할 기준들의 상대적 가중치를 결정한 뒤 이들 간의 상대적 중요도를 알아보는 방법이다. 따라서 실제 급경사지재해 취약성을 평가하기에는 부족한 면이 있다. 이를 해결하기 위해 AHP 분석 후 얻은 평가항목과 그에 따르는 세부

Table 6. Weighting values of subordinate factors of the porosity.

Respondents \ Alternatives	Large (≥ 80.1%)	Slightly large (75.1%~80.0%)	Medium (67.1%~75.0%)	Slightly small (46.1%~67.0%)	Small (≤ 46.0%)	CR
Respondent 1	0.421	0.266	0.149	0.086	0.078	0.008
Respondent 2	0.369	0.281	0.169	0.095	0.085	0.016
Respondent 3	0.419	0.273	0.165	0.092	0.050	0.080
Respondent 4	0.411	0.275	0.116	0.101	0.097	0.015
Respondent 5	0.453	0.252	0.139	0.095	0.060	0.045
Respondent 6	0.336	0.257	0.181	0.144	0.082	0.016
Respondent 7	0.394	0.277	0.134	0.109	0.085	0.018
Respondent 8	0.078	0.082	0.135	0.245	0.459	0.187
Respondent 9	0.416	0.262	0.161	0.099	0.062	0.015
All respondents	0.385	0.249	0.156	0.119	0.090	0.003

Table 7. Weighting values of subordinate factors of the water contents.

Respondents \ Alternatives	Large (≥ 40%)	Slightly large (30%~39%)	Medium (20%~29%)	Slightly Small (10%~19%)	Small (≤ 9%)	CR
Respondent 1	0.419	0.264	0.149	0.100	0.068	0.015
Respondent 2	0.456	0.216	0.152	0.093	0.082	0.018
Respondent 3	0.416	0.262	0.161	0.099	0.062	0.015
Respondent 4	0.418	0.263	0.162	0.085	0.072	0.014
Respondent 5	0.421	0.266	0.149	0.086	0.078	0.008
Respondent 6	0.402	0.262	0.161	0.112	0.063	0.038
Respondent 7	0.406	0.266	0.165	0.086	0.077	0.018
Respondent 8	0.437	0.235	0.155	0.118	0.055	0.058
Respondent 9	0.416	0.262	0.161	0.099	0.062	0.015
All respondents	0.423	0.256	0.158	0.096	0.067	0.014

Table 8. Weighting values of subordinate factors of the permeability.

Respondents \ Alternatives	Large (6.1×10^{-3}~ 1.0×10^{-2} cm/s)	Slightly large (4.6×10^{-3}~ 6.0×10^{-3}cm/s)	Medium (2.6×10^{-3}~ 4.5×10^{-3}cm/s)	Slightly Small (1.1×10^{-3}~ 2.5×10^{-3}cm/s)	Small (≤ 1×10^{-3}cm/s)	CR
Respondent 1	0.421	0.266	0.149	0.086	0.078	0.008
Respondent 2	0.379	0.251	0.154	0.123	0.093	0.015
Respondent 3	0.416	0.261	0.161	0.099	0.062	0.015
Respondent 4	0.094	0.126	0.178	0.221	0.381	0.016
Respondent 5	0.072	0.118	0.191	0.191	0.427	0.024
Respondent 6	0.143	0.143	0.143	0.143	0.428	0.000
Respondent 7	0.252	0.252	0.223	0.148	0.126	0.013
Respondent 8	0.403	0.202	0.107	0.125	0.162	0.193
Respondent 9	0.328	0.244	0.187	0.129	0.111	0.018
All respondents	0.266	0.223	0.180	0.149	0.180	0.005

등급들에 대한 가중치를 이용해 급경사지재해 취약성을 수치적으로 알아볼 수 있는 근거가 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 급경사지재해 취약성 평가표를 개발하였다. 이는 100점 만점의 평가표로써 특정 지점의 급경사지재해 취약성을 수치적으로 평가할 수 있게 해준다. 평가표를 만들기 위해서는 우선 평가항목과 세부등급들의 가중치를 먼저 살펴보아야 하는데 결과는 Table 9와 같다.

이를 토대로 각 평가항목들에 대한 가중치를 100점으로

Table 9. Weighting values of the evaluation criteria and their alternatives.

Criteria	Weighting	Alternatives	Weighting
Lithology	0.110	Gneiss	0.384
		Granite	0.292
		Mudstone	0.324
Elevation (m)	0.092	High(≥ 431)	0.478
		Medium(226~430)	0.361
		Low(≤ 225)	0.161
Slope Angle (°)	0.310	Large(≥ 27.1)	0.391
		Slightly large(23.1~27.0)	0.247
		Medium(19.1~23.0)	0.155
		Slightly small(15.1~19.0)	0.113
		Small(≤ 15.0)	0.094
Porosity (%)	0.115	Large(≥ 80.1)	0.385
		Slightly large(75.1~80.0)	0.249
		Medium(67.1~75.0)	0.156
		Slightly small(46.1~67.0)	0.119
		Small(≤ 46.0)	0.090
Water Contents (%)	0.168	Large(≥ 40)	0.423
		Slightly large(30~39)	0.256
		Medium(20~29)	0.158
		Slightly small(10~19)	0.096
		Small(≤ 9)	0.067
Permeability (cm/s)	0.204	Large(6.1×10^{-3}~1.0×10^{-2})	0.266
		Slightly large(4.6×10^{-3}~6.0×10^{-3})	0.223
		Medium(2.6×10^{-3}~4.5×10^{-3})	0.180
		Slightly small(1.1×10^{-3}~2.5×10^{-3})	0.149
		Small(≤ 1×10^{-3})	0.180

환산하여 평가항목들에 대한 점수표를 만들면 Table 10과 같다. 이렇게 만들어진 점수를 각 평가항목들의 최고 점수로 정하고 이 점수를 기준으로 평가항목들 각각의 세부등급들에 대한 점수를 할당하게 되면 최종적인 급경사지 재해 취약성 평가표가 만들어지게 된다. 이때 세부등급들에 대한 점수는 등간격으로 할당하는 것이 아니라 평가항목들에 대한 점수를 부여한 것과 동일하게 세부등급들에 대한 가중치를 살펴본 뒤 그 가중치에 따라 점수를 할당하게 된다.

예를 들어 암질의 경우는 다음과 같다. 전체 평가항목들 중에서 암질의 가중치는 11.0%이고 점수는 10점이고 이 점수가 암질의 세부등급에 대한 최고점수가 된다. 최고점수가 정해지고 나면 세부등급들의 가중치를 살펴보게 되는데, 편마암이 0.384로 가장 크고, 이암이 0.324, 그리고 화강암이 0.292이므로 편마암에 10점을 부여한 후 다음으로 큰 이암에 대해 점수를 부여한다. 이암의 가중치는 편마암의 가중치와 큰 차이가 없으므로 10점보다 약간 적은 9점을 부여하고, 나머지 화강암의 가중치는 편마암보다 큰 차이는 나지 않지만 세부등급들 중 가장 순위가 낮다는 것을 감안하여 6점을 부여한다. 세부등급들에 대해 최고점수가 정해지고 세부등급들의 순위를 알면 1순위를 제외한 나머지 세부등급들에 대한 점수는 가중치에 따라 주관적으로 부여하면 된다. 이런 방식으로 나머지 평가항목들의 세부등급들에 대해

Table 10. Weighting values of the criteria and their scores.

Criteria	Weighting	Scores	Priority
Lithology	11.0%	10	5
Elevation(m)	9.2%	10	6
Slope Angle(°)	31.0%	32	1
Porosity(%)	11.5%	12	4
Water Contents(%)	16.8%	16	3
Permeability(cm/s)	20.4%	20	2
합 계	100.0%	100	

Table 11. Evaluation chart for landslide susceptibility.

Factors		Subordinate factors				
A. Lithology	Group	Gneiss		Mudstone		Granite
	Grade	1		2		3
	Score	10		9		6
B. Elevation (m)	Group	≥ 431		226-430		225이하
	Grade	1		2		3
	Score	10		9		6
C. Slope angle (°)	Group	≥ 27.1	23.1~27.0	19.1~23.0	15.1~19.0	≤ 15.0
	Grade	1	2	3	4	5
	Score	32	24	16	8	0
D. Porosity (%)	Group	≥ 80.1	75.1~80.0	67.1~75.0	46.1~67.0	≤ 46.0
	Grade	1	2	3	4	5
	Score	12	9	6	3	0
E. Water Contents (%)	Group	≥ 40.0	30.0~39.9	20.0~29.9	10.0~19.9	≤ 9.0
	Grade	1	2	3	4	5
	Score	16	12	8	4	0
F. Permeability (cm/sec)	Group	6.1×10^{-3} ~ 1.0×10^{-2}	4.6×10^{-3} ~ 6.0×10^{-3}	2.6×10^{-3} ~ 4.5×10^{-3}	1.1×10^{-3} ~ 2.5×10^{-3}	$\leq 1\times10^{-3}$
	Grade	1	2	3	4	5
	Score	20	15	10	5	0

서도 점수를 부여한다. 이렇게 만들어진 최종적인 급경사지재해 취약성에 대한 평가표는 Table 11과 같다.

위의 점수표를 이용한 취약성 평가의 예를 들어보면, "A"라는 지점에 대해서 6개의 평가항목을 조사하였다고 가정해 보자. 어떤 급경사지의 암질은 화강암이고 고도는 중간(300m), 사면경사는 약간 작음(1.5°~1.9°)에 속하고, 공극율은 약간 큼(75.1%~80.0%)에, 함수비는 약간 큼(30%~39%)에, 투수계수는 보통(2.6×10^{-3} cm/sec~4.5×10^{-3} cm/sec)에 속하는 것으로 조사되었다면, 산사태 취약성은

$$6+9+8+9+12+10=54$$

가 된다. 따라서 A라는 지점은 산사태 취약성 점수가 54라는 것을 알 수 있게 되며, 이를 통해 이 지점은 산사태 취약성이 중간 정도임을 의미한다. 만약, 점수가 높아질 경우 그 지역은 산사태가 발생할 가능성이 높으며, 반대로 점수가 낮을 경우는 상대적으로 산사태 발생가능성이 낮을 의미한다.

결 론

본 연구에서는 AHP 분석을 이용한 급경사지재해 취약성 평가표를 개발하고 평가표의 성능에 대한 분석을 실시하였다. 이는 전문가 설문을 통한 AHP 분석 방법의 결과를 이용해 수행한 것으로서, 각 평가항목과 평가항목별 세부등급에 대한 가중치를 각각 설정하였다. 평가항목들의 가중치를 100점으로 환산하여 점수화한 결과 사면경사가 가장 높은 순위이고, 투수계수, 함수비, 공극율, 암질, 그리고 고도의 순서로 결정되었다. 이렇게 결정된 평가항목별 점수를 기준으로 평가항목 각각의 세부등급에 대한 점수를 할당하여 급경사지재해 취약성 평가표를 개발하였다. 급경사지재해 취약성 평가표는 평가자가 평가대상 지점에 대해 각 평가항목별 해당 속성, 즉 세부등급을 선택하고, 선택된 각 속성별 평가점수를 더하면 급경사지재해 취약성이 점수로 산출된다.

본 연구에서 제시된 평가표를 토대로 향후에는 지질특성별 양질의 자료에 기반한 주요 요인의 선정과 범위 설정 등의 개선 노력이 필요하다. 또한, 급경사지에서의 개발이 빈번한 우리나라에서 지질특성별 또는 특정 지역별 세부모형의 개발이 필요하며, 이를 GIS와의 연계를 통한 분석이 요구된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 기본사업의 하나인 "급경사지 및 휴폐광산지역의 재해예방기술 개발" 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

김상훈, 최점기, 2007, AHP기법을 이용한 정보화지원사업 평가영역 및 평가항목별 가중치 분석, 한국경영과학회지, 23(2), 123-140.

김영문, 1998, 그룹의사결정에 있어서 AHP의 활용과 이슈에 관한 연구, 한국경영교육학회지 상교논총, 15, 215-233.

김이유, 정상충, 일호현, 2005, R그래픽스, 자유아카데미.

서용석, 김창용, 김광염, 이현우, 2005, 정준상관분석을 이용한 막장등급평가 수량화 기법 연구, 지질공학, 15(4), 463-473.

양인태, 김제천, 천기선, 김동문, 2001, GSIS와 AHP법을 이용한 산사태 유발인자 분석, 한국측량학회지, 19(3), 273-281.

채병곤, 김원영, 조용찬, 김경수, 이춘오, 최영섭, 2004, 토석류 산사태 예측을 위한 로지스틱 회귀모형 개발, 지질공학, 14(2), 211-222.

한국지질자원연구원, 2004, 산사태 위험도 산정시스템 및 피해저감기술 개발, KR-04(연차)-13-3, 국무총리, 247p.

한국지질자원연구원, 2008, 지질재해 피해평가기술 및 대응기술 실용화사업, GP2007-018-03-2, 지식경제부, 486p.

Belton, V., Stewart, T. J., 2002, Multiple Criteria Decision Analysis - An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers Group.

Johnson, R. A., Wichern, D. W., 1998, Applied Multivariate Statistical Analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Liu, Y. -C, Chen, S. -C., 2007, A new approach for application of rock mass classification on rock slope stability assessment, Engineering Geology, 89, 129-143.

Satty, T. L., 1980, The analytic hierarchy process, McGraw-Hill International Book Company, New York.

2009년 1월 22일 원고접수, 2009년 3월 25일 게재승인

채병곤

한국지질자원연구원 지구환경연구본부

350-350 대전광역시 유성구 과학로 92

Tel: 042-868-3052

Fax: 042-868-3414

E-mail: bgchae@kigam.re.kr

조용찬

한국지질자원연구원 지구환경연구본부

350-350 대전광역시 유성구 과학로 92

Tel: 042-868-3059

Fax: 042-868-3414

E-mail: choych@kigam.re.kr

송영석

한국지질자원연구원 지구환경연구본부

350-350 대전광역시 유성구 과학로 92

Tel: 042-868-3035

Fax: 042-868-3414

E-mail: yssong@kigam.re.kr

서용석

충북대학교 지구환경과학과

361-763 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410

Tel: 043-261-2765

Fax: 043-276-9645

E-mail: ysseo@cbu.ac.kr