

ANN 기법을 이용한 사면 붕괴인자 평가

Assessment of Landslide Causal Factors Using ANN Method

송 영 갑¹ Song, Young-Karb

정 민 수² Jung, Min-Su

오 정 림³ Oh, Jeong-Rim

차 아 림⁴ Cha, A-Reum

Abstract

In this study landslide causal factors which are considered to have the same effect in assessment techniques are categorized and their impact on landslides is analyzed to acquire reasonable weighting factors in the landslide hazard. Results are compared to those of the Assessment Chart developed by National Institute for Disaster Prevention (NIDP) and the adequacy and proper portion for landslide causal factors are considered. The Artificial Neural Network (ANN) method applied to 28 landslide areas is incorporated to evaluate the reasonable rating. Results show that the following items in the Chart are necessary to modify their portions in order to implement the precise assessment results: 1) Estimated damage; 2) Tension crack; 3) Existence of valley.

요 지

본 연구에서는 사면위험도의 합리적인 평가 가중치를 도출하기 위하여 국내의 대표적인 평가방법에 대해 동일한 영향성을 주는 것으로 간주되는 항목들을 그룹화하여 그 영향성을 분석하고 이를 국립방재연구소(NIDP) 평가법과 비교, 사면붕괴 주요인자 선별의 적정성과 배점비율을 검토하였다. 또한, 붕괴가 발생된 28개소 사면을 대상으로 ANN(Artificial Neural Network) 기법을 적용하여 사면붕괴 유발인자 가중치에 대한 합리적 배점이 이루어졌는지에 대해 고찰하였다. ANN기법에 의해 평가비중을 재조정하여 분석한 결과, 국립방재연구소 평가법의 평가비중 오차가 큰 예상피해도, 인장균열, 계곡부 항목의 가중치를 조정하여야 보다 정확한 평가가 가능할 것으로 분석되었다.

Keywords : ANN (Artificial Neural Network), Causal factors, Slope stability, Soil-slope, Weighting factors

1. 서 론

최근 기후변화의 영향으로 집중호우가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 집중호우로 인하여 자연재해의 발생패턴이 점차 비정형화·대형화되고 있는 추세이다. 특히 기존의 강우양상과는 달리 최근에는 국부적으로 많은 비

를 수반하고 있다는 것이 그 특징이다. 집중호우의 증가는 기존의 사면방재 대책을 무력화 시키며 사면재해 유발시키고 있으며, 우리나라와 같이 인구밀도가 높고 산지가 많은 지역에서는 특히 사면재해의 위험성을 높이고 있다. 국내에서는 사면 붕괴로 인해 연평균(2001~2010) 18명의 인명피해가 발생하고 있으며, 이는 전체

1 정희원, 국립방재연구원 선임연구원 (Member, Senior Researcher, National Disaster Management Institute)

2 정희원, 국립방재연구원 시설연구사 (Member, Analyst, National Disaster Management Institute, Tel: +82-2-2078-7819, Fax: +82-2-2078-7839, msjung@korea.kr, 교신저자)

3 정희원, 국립방재연구원 시설연구사 (Member, Analyst, National Disaster Management Institute)

4 정희원, 국립방재연구원 연구원 (Member, Researcher, National Disaster Management Institute)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2013년 4월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

자연재해사망자의 26.0%를 차지한다(NDMI, 2011). 또한, 사면재해는 인명피해 뿐만 아니라 사회기반시설의 파괴 등 경제적 손실을 초래한다. 이러한 사면재해에 효과적으로 대응하기 위해서는 사면에 대한 관리와 점검을 병행하면서 사전에 사면의 위험성을 평가하고 그 결과에 따라 보강작업의 실시할 필요성이 있으며, 그와 동시에 사면 붕괴위험지역의 개발을 제한하고 사면 안정성에 영향을 미치는 요소에 대한 적절한 평가기준을 제시하여 사면을 효율적으로 관리하여야 한다. 현재 국내에서는 사면의 위험성을 평가 및 유지보수를 위하여 한국도로공사, KEC(2004), 한국건설기술연구원, KICT(2002), 한국시설안전공단, KISTEC(2004) 등의 기관에서는 각각 사면위험도 평가표를 개발하여 이용하고 있다.

그러나 이렇게 개발된 사면위험도 평가표들은 각 기관별로 그 관리대상과 개발목적에 따라 평가항목 및 가중치가 상이하게 적용되어, 동일한 사면에 대해서도 서로 다른 평가결과가 도출될 수 있다는 문제점이 있다(Song 등, 2010). 이러한 문제점을 해결하고, 급경사지 붕괴 위험성을 정확히 판단하기 위해 사면안정성에 영향을 미치는 요인들을 객관적으로 선별하고자 많은 연구가 진행되었다(Kang과 Um, 2007; Song 등, 2005; Hong 등, 2005). 사면붕괴 위험도 평가에 대한 연구의 공통된 문제의식은 평가항목별 배점 비중의 비합리화를 들 수 있다. 동일한 항목이라 할지라도 급경사지 안정성에 미치는 영향 정도에 따라 차이가 발생할 수 있으므로 충분한 분석 및 통계자료 등을 통해 적절한 배점이 이루어져야 한다. 토사 급경사지의 경우 간극수압의 증가에 따라 전단강도가 현저히 낮아지므로 이들에 대한 점수 비중을 높이고, 암반 급경사지의 경우에도 이에 대한 차별적 배점이 이루어져야 한다(Song 등, 2012). 특히, 각 항목이 붕괴에 미치는 중요도와 가중치를 판단하여 적절한 배점기준을 제안하는 것이 사면 위험도 평가에 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 국립방재연구소; NIDP(2009) 평가법과 국내에서 활용되고 있는 대표적인 사면평가방법(Choi, 1986; KICT, 2002; KEC, 2004; KISTEC, 2004)을 비교하여 평가항목 및 배점비율을 분석하였으며, NIDP(2009) 평가법의 평가항목 가중치 대한 합리적 배점이 이루어졌는지에 대해 붕괴가 발생된 28개소 사면을 대상으로 ANN(Artificial Neural Network) 기법을 적용하여 분석하였다.

2. 사면붕괴 평가항목 및 배점비율

국내의 사면붕괴 위험도평가는 각 기관별 업무특성에 맞는 평가방법을 개발하여 사용 중에 있다. 본 연구에서는 국내에서 대표적으로 많이 사용되는 토사사면 평가방법(Choi, 1986; KICT, 2002; KEC, 2004; KISTEC, 2004)을 NIDP(2009)와 비교·분석하여 평가항목의 적정성과 평가항목의 배점비율을 검토하였다.

사면붕괴 위험도 평가를 위한 평가법의 평가항목 분류는 사면의 형상과 관련된 ‘사면 형상’, 사면이 가지는 지질학적 요소 및 외관과 관련된 ‘사면 상태’, 사면 내 불연속면과 관련된 ‘불연속면’, 사면 활동하중 경감 및 억제와 관련된 ‘보호공’, 사면 주변 환경이나 외부 조건과 관련된 ‘사면 환경’ 그리고 안정성 해석결과 및 주관적 위험도를 포함한 ‘안정성’ 등 총 6개의 대분류 항목으로 분류하였으며, 대분류 개개별 항목에 해당하는 세부 항목을 선별하여 항목별 평가비중을 계산하였다. 항목별 평가비중은 평가법 총점에 대한 항목별 최대점수의 백분율로 나타내었다. 사면붕괴 위험도를 저감시키는 (-)항목(안정항목)을 제외한 나머지 항목들의 합이 100%에 가까운 값이 될수록 불안정한 상태가 된다(Table 1).

각 기관별 평가법 분석 결과, Choi(1986)의 평가법은 평가 항목수가 가장 적으며, 사면 형상과 관련된 항목이 전체 항목의 75.23%로 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 나타나, 사면형상이 안정성 평가에 주요한 요인으로 작용한다는 것을 알 수 있었다. 비록 현장조사를 하지 않아도 일반인이 쉽게 붕괴위험도를 평가할 수 있다는 장점이 있으나, 붕괴위험도 평가 시 기하학적 형상에 대한 과대평가의 우려와 다른 공학적 판단요소가 고려되지 않아 급경사지 안정성 평가에는 다소 부적절하다는 단점을 가지고 있다.

KICT(2002)의 평가법은 사면 높이 항목이 14.56%, 경사항목이 21.81%로 사면 형상과 관련된 항목(36.37%)의 비중이 가장 크며, 각각의 대분류 항에 평가항목들이 고르게 분포하고 있는 반면 평가항목수가 많아 전문가에 의한 정밀한 현장조사가 요구되고 평가항목 적용 시에도 그에 따른 공학적 판단이 수반되어야 하는 등 내업과 외업에서 상대적으로 많은 노력이 필요하다. 또한, 토사와 암반사면으로 나누어 평가법이 제안되어 있으나, 절리와 불연속면과 같은 암반사면에 해당되는 항목이 토사사면에도 적용되어 다소 불합리한 부분이 있으며, 항목 중 안정성 평가는 실내작업이 이루어져야 하는 항목

Table 1. Proportions of evaluating elements for steep slopes (% , Modified from NIDP, 2009)

Classification	Item	Evaluation method	SOIL SLOPE				
			NIDP ¹ (2009)	Choi. K (1986)	KICT ² (2002)	KEC ³ (2004)	KISTEC ⁴ (2004)
S t a b i l i t y E v a l u a t i o n	Profile	Slope angle	16.0	5.83	21.81	6.67	10.5
		Slope height	10.0	-	14.56	10	-
		Slope length	-	-	-	-	-
		Gradient length	-	21.87	-	-	-
		Gradient location	-	14.58	-	-	-
		traverse profile	-	28.94	-	-	-
		Longitudinal profile	-	4.01	-	3.33	-
		Sub total (%)	26.0	75.22	36.37	20	10.5
	Condition	Geologic characteristic	-	17.35	-	10	-
		Soil characteristics	-	-	10.91	3.33	10.5
		Consistency	14.0	-	-	-	-
		Weathering	-	-	-	6.67	-
		Soil depth	-	-	-	-	5.3
		Slope condition (Crack)	16.0	-	-	-	-
		Sub total (%)	30.0	17.35	10.91	20.0	15.8
	Discontinuity	Number of joint	-	-	-	3.33	-
		Discontinuity except joint	-	-	7.27	3.33	-
		Joint direction	-	-	-	13.33	-
		Joint angle	-	-	-	10	-
		Special geology (fault)	-	-	-	10	-
		Strength of rock	-	-	-	3.33	-
		Condition of discontinuity	-	-	-	-6.67	-
		Sub total (%)	-	-	7.27	43.32	-
	Protection	Slope protection	-	-	-	-10	5.3
		Condition of protection	-	-	7.27	-	10.5
		Importance of protection	-	-	-	-	-
		Sub total (%)	-	-	7.27	-10	15.8
	Slope environment	Thickness of stands	-	7.43	-	-	-
		Water catchment	-	-	-	3.33	5.3
		Drainage type	-	-	-	-	10.5
Groundwater/condition		12.0	-	7.27	3.33	10.5	
Rainfall intensity		-	-	-	-	10.5	
Upslope gradient		-	-	3.64	3.33	-	
Valley		6.0	-	5.45	-	-	
Infiltration		-	-	-	-	-	
Sub total (%)		18.0	7.43	16.36	9.99	36.8	
Stability	RMR score	-	-	-	-	-	
	Failure history	8.0	-	7.27	6.67	5.3	
	Stability analysis	-	-	3.64	-	-	
	Ratio of danger area	-	-	-	-	-	
	Subjective vulnerability (Expected damage)	18.0	-	10.91	-	15.8	
	Sub total (%)	26.0	-	21.82	6.67+ α	21.1	
Total score (100)			100	100	100	100	100

¹NIDP: National Institute for Disaster Prevention

²KICT: Korea Institute of Construction Technology

³KEC: Korea Expressway Corporation

⁴KISTEC: Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

이 있다.

KEC(2004)의 평가법의 경우 사면의 붕괴 위험도를 감소시키는 항목(안정인자)들에 대해서는 (-)점수를 부여하도록 하였으며, 최대 비중을 차지하는 항목은 불연속면과 관련된 항목으로 전체평가 비중의 43.32%를 차지한다. KEC(2004)의 평가법은 안정인자를 적용한다는 점, 18개로 가장 많은 평가항목으로 평가하는 점에서 그만큼 많은 영향인자를 고려해 공학적 판단을 위험도 평가에 접목시켜 정확성을 높인다는 시도에서는 장점이 있으나 그와 수반하여 조사자의 높은 숙련도와 신중한 현장조사가 요구된다.

KISTEC(2004)의 평가법은 사면 환경(36.80%) 항목의 비중이 가장 높았으며, 다음으로는 안정성(21.1%) 항목이 높은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다. 평가항목 중에서 사면 높이 항목이 누락되어 있는 단점이 있는 반면에 타 기관 평가법에는 평가되지 않는 사면 파괴징후 항목이 포함되어 있어 실제로 붕괴 위험성이 있는 사면 평가 시 유용한 자료로 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

NIDP(2009)의 평가법은 사면 상태 항목(30.0%)의 비중이 가장 높으며, 사면 형상과 안정성 항목이 26.0%를 나타내며, 사면 환경 항목이 18.0%로 그 비중이 가장 작다. NIDP(2009)평가법은 급경사지 관리담당자 및 지자체 공무원이 현장에서 손쉽게 적용할 수 있는 평가항목으로 구성되어 있어 KICT(2002), KEC(2004), KISTEC(2004)에 비해 평가항목수가 적으나 사면 높이 및 경사, 지질 특성과 같은 항목과 인장균열 및 절리, 붕괴이력에 대한 필수적인 항목이 포함되어 있다. 또한, Choi(1986)의 평가법과 마찬가지로 공학적 평가항목이 다소 부족하고, 정밀한 평가항목이 없다는 점에서 향후 개선할 필요가 있을 것으로 사료된다.

3. ANN을 이용한 붕괴인자 가중치 평가

3.1 ANN 모델 구축

ANN이란 사고, 학습인식 등 인간과 유사한 지능을 실현하기 위해 인간의 뇌신경 조직을 모형화한 것으로 신호처리, 제어, 패턴인식, 의학 분야 뿐 만 아니라 지반공학분야에서도 다양하게 활용되고 있다. 지반공학 분야에서 ANN 기법은 1990년 초부터 적용되기 시작하였으며, 사면에서는 붕괴영향인자를 이용하여 사면안정성

을 평가하기 위하여 적용되고 있다(AI-Tuhami, 2000; NI 등, 1995; Neaupane and Achet, 2004; Sakellarios and Ferentinou, 2005). ANN의 특징은 연결가중치의 단계적 조정으로 수행된 학습을 통하여 신경망의 성능을 향상시키며, 학습되지 않은 경우에 대해서도 일반화된 기능을 이용하여 합리적인 해를 제공한다는 것이다. 본 연구에서는 사면 불안정에 영향을 미치는 요인들의 복잡한 상관관계 분석을 위해 Fig. 1과 같이 입력층과 은닉층, 출력층으로 구성된 다층구조의 ANN 모델을 사용하여 NIDP(2009) 평가법의 평가항목(사면붕괴 주요인자) 가중치를 분석하고자 한다.

사면붕괴 주요인자 분석은 NeuroSolutions™ Version 5.0의 다층퍼셉트론(multilayer perceptron)모델을 사용하여 은닉층의 수와 은닉층에 존재하는 뉴런의 수, 수렴 기준 등을 변화시켜 사면붕괴 주요인자를 평가할 수 있도록 설계하였으며, 최적의 결과를 도출하고 입력 자료의 가중치를 계산하는 오류역전파(error back propagation) 알고리즘(Paola and Schowengerdt, 1995)을 적용하였다. 또한 제공오차 값이 목표(goal)로 하고 있는 평균제곱오차값(0.001%)보다 작아지거나 최대 훈련 반복횟수(15,000회)에 도달되면 학습을 종료하도록 프로그램 하였다.

ANN 모델구축을 위해서는 학습단계와 검증단계에 사용될 신뢰성 있는 자료의 축적이 요구된다. 본 연구에서는 붕괴가 발생된 28개소의 토사사면을 대상으로 NIDP(2009) 평가법의 사면 위험도 평가항목 8개 인자를 적용하여 ANN 모델을 구축하였다. ANN 모델 구축에 적용된 토사사면은 강원도 평창군 및 인제군 지역 국도변에

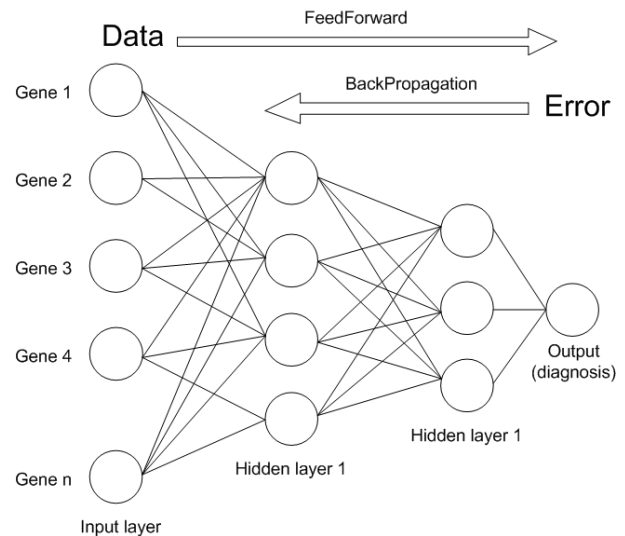
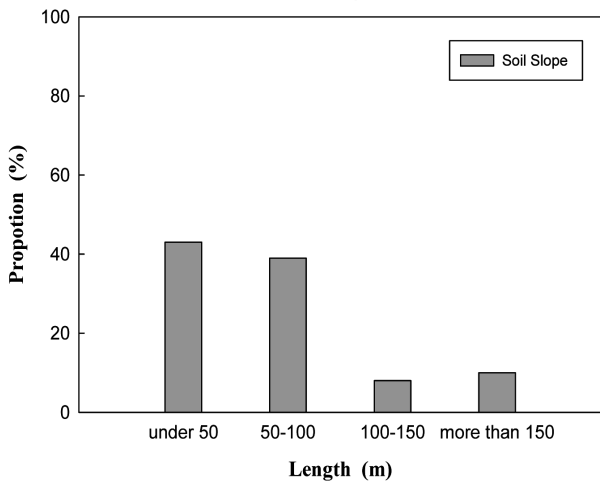
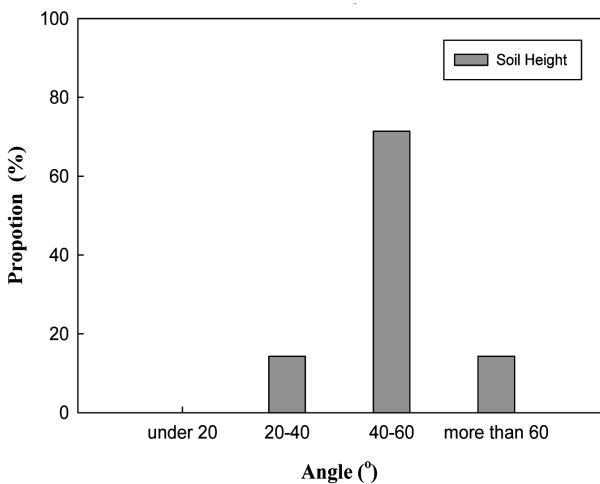


Fig. 1. ANN Model (Kim 등, 2006)

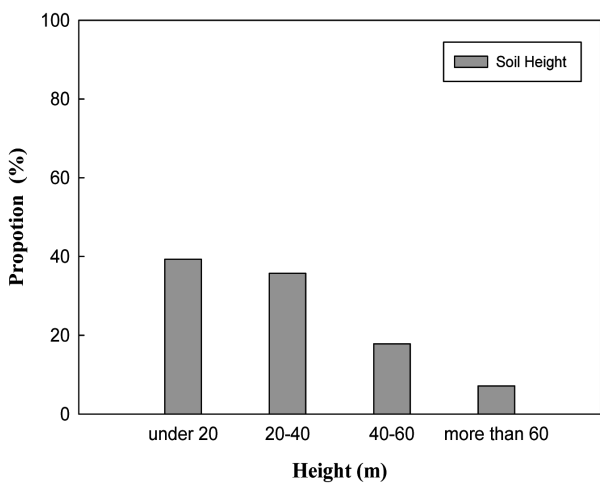
조성된 사면으로 2006년 집중호우 기간(7.14~7.20, 누적강우량 618mm, 7월 15일 최대 강우량 268mm)에 붕괴가 발생되었다(Fig. 2).



(a) Slope Length



(b) Slope Angle



(b) Slope Height

Fig. 2. Status of slope to which the ANN Analysis applied

3.2 민감도 분석을 이용한 붕괴인자 가중치 평가

ANN의 민감도 분석이란 입력변수들과 설정된 모델 출력변수간의 불확실성을 평가하는 일종의 확률론적인 방법이다. 또한 민감도 분석은 모델의 입력변수들의 변화에 어떻게 영향을 받는지 평가하여 모델의 신뢰성과 예측결과에 대한 신뢰성을 향상시키기 위해 사용된다. 따라서 민감도 분석은 모델 입력변수의 불확실성의 결과로서 얻어지는 전체 불확실성을 정량화하는데 목적을 둔 불확실성 해석(uncertainty analysis)과 밀접한 관계가 있다(Baek 등, 2005).

본 연구에서는 앞서 언급한 NIDP(2009) 토사사면 안정성 평가표에 적용되는 평가항목을 대상으로 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하여 사면붕괴 유발인자 가중치에 대한 배점을 분석하고자 하였다. 민감도 분석(sensitivity analysis)을 위한 ANN 설계 결과, 은닉층 수는 1개, 모멘텀함은 0.7, 각 층의 전이함수는 Sigmoid Function으로 구성하고, 데이터를 Training data(50%)-Validation data(30%)-Testing data(20%)로 분할검증하는 모델이 가장 높은 상관관계($R = 89\%$)를 나타내었다.

NIDP(2009) 평가법에서는 예상피해도(18%), 인장균열(16%), 경사(16%), 연경도(14%), 용수상태(12%), 높이(10%), 붕괴이력(8%), 계곡부(6%) 순으로 붕괴인자의 가중치를 배점하고 있다(Fig. 3). 그러나 ANN을 이용한 민감도 분석을 실시한 결과 계곡부(21.7%), 경사(17.6%), 용수상태(16.5%), 연경도(15.1%), 붕괴이력(9.6%), 높이(8.9%), 인장균열(5.4%), 예상피해도(5.2%) 순으로 붕괴인자의 가중치가 산정되었다(Fig. 4).

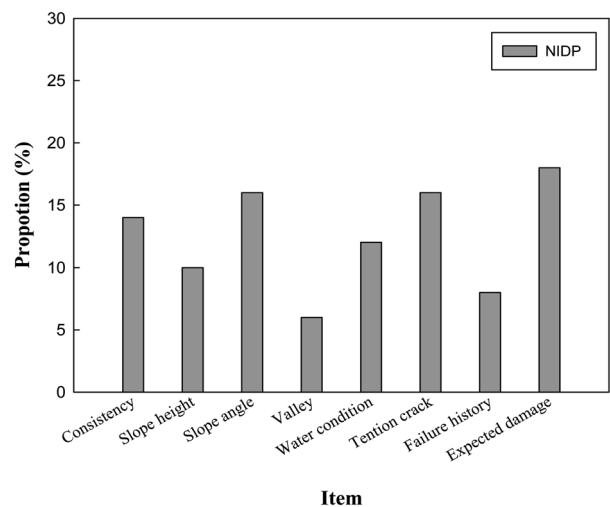


Fig. 3. Slope impacting factor proposed by NIDP

가중치 평가결과를 분석해보면 NIDP(2009) 평가법은 앞서 분석한 6개의 대분류 항목 중 ‘사면상태(인장균열, 연경도)’와 관련된 항목이 사면 불안정에 가장 많은 영향을 주는 것으로 분석된 반면, ANN을 이용한 분석에서는 ‘사면 환경’과 관련된 항목이 사면 불안정에 가장 많은 영향을 주는 것으로 분석되었다. 이는 강우강도나 집수지형이 사면 안정성에 가장 중요한 변수로 작용하는 것을 의미한다.

주요 붕괴인자 각 평가항목에 대한 가중치에 대한 검증결과는 Fig. 5와 같이 높은 상관관계($R = 79\%$)를 나타내었다. 검증자료의 경우 전체자료에서 임의적으로 선택되었고 ANN 모델구축 시 학습과정에 전혀 사용되

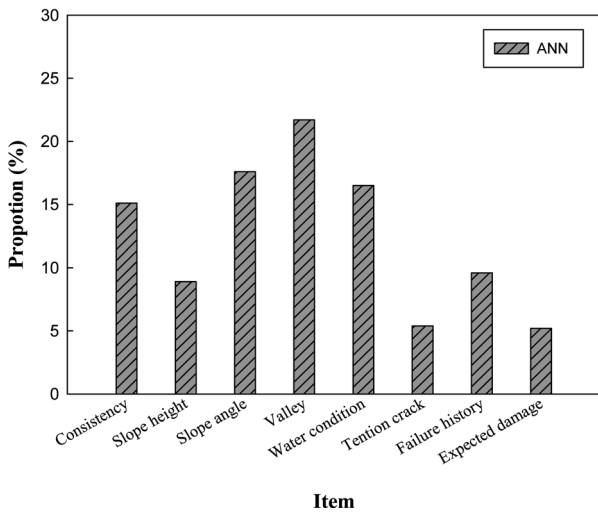


Fig. 4. Slope impacting factor proposed by ANN

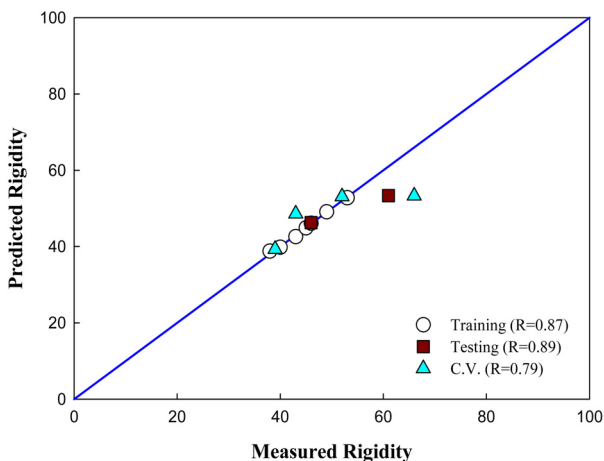


Fig. 5. Verification result for the ANN impacting factor

지 않았음에도 불구하고 학습 자료의 경향을 반영하여 정확한 예측이 수행되었음을 나타낸다. 따라서 ANN 민감도 분석방법은 사면 붕괴유발요인의 상관관계를 규명하는데 효과적이라 할 수 있다. 또한 본 연구를 통해 분석된 붕괴유발요인 가중치에 대한 검증 결과 오차가 비교적 크지 않아 사면 붕괴인자의 가중치배점에 적절한 기준을 제시할 수 있을 것이라 판단된다.

4. 가중치 조정을 통한 사면안정성 평가

본 장에서는 NIDP(2009) 평가표에 제안된 주요인자의 평가비중과 ANN 분석을 통해 도출된 평가비중을 붕괴가 발생한 현장에 적용하여 급경사지 안정성을 평가함으로써 평가항목 가중치 배점에 대한 타당성을 검토하였다.

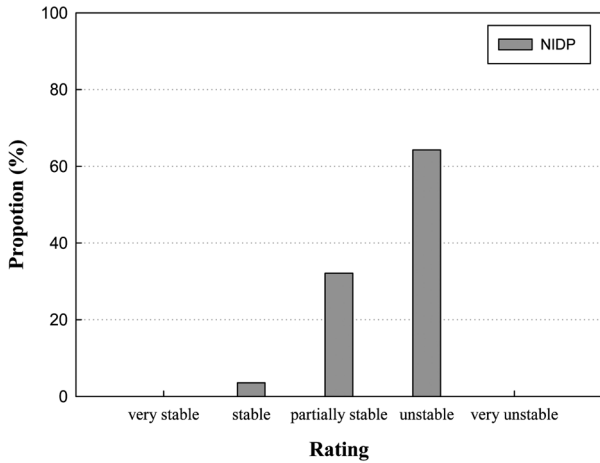
NIDP(2009)의 평가법은 평가항목 총점을 기준으로 급경사지의 안정성을 5등급으로 나누어 평가하고 있으며(Table 2), 이러한 기준을 근거로 NIDP(2009) 평가표에 제안된 주요인자의 평가비중을 현장에 적용한 결과는 Fig. 6(a)과 같다.

급경사지 안정성 평가결과, 전체 사면 28개소 중 ‘매우 불안정’에 속하는 평가등급은 없는 것으로 나타났으며, ‘안정’에 해당하는 등급이 3.57%, ‘부분적 안정’ 등급이 32.14%, ‘불안정 등급’이 64.28%로 나타났다. 반면에, ANN 분석을 통해 도출된 결과를 기반으로 평가비중을 조정하여 붕괴발생 현장에 적용한 결과, ‘부분적 안정’이 14.28%, ‘불안정’이 53.57%, ‘매우 불안정’이 32.14%로 분석되었다. 즉, 85.7% 이상의 사면이 ‘불안정’과 ‘매우 불안정’으로 분석되었다.

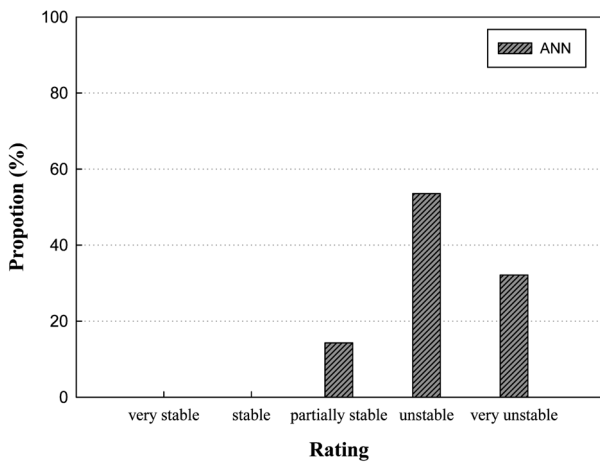
본 연구에서 NIDP(2009) 평가표에 제안된 주요인자의 평가비중, 즉 가중치 배점에 대한 타당성을 검토하기 위해 대상이 이미 붕괴가 발생한 사면이란 점을 감안하며, ANN 분석을 통해 도출된 평가비중으로 사면을 평가함이 보다 현실적인인 결과를 도출함을 파악할 수 있었다. 결과론적 관점에서 NIDP(2009) 평가항목의 가중치 배점은 ANN 분석결과와 비교할 때 ‘예상피해도(오차: 12.8%)’, ‘인장균열(오차: 10.6%)’, ‘계곡부(오차: 15.7%)’ 항목의 배점을 조정하여야 할 것으로 판단된다. 반면에

Table 2. Guideline on the stability evaluation (NIDP, 2009)

Evaluation	very stable	stable	partially stable	unstable	very unstable
Rating	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100



(a) Evaluation of the rating portion proposed by NIDP



(b) Evaluation of the rating portion proposed by ANN

Fig. 6. Evaluation of the Rating

‘연경도(오차: 1.1%)’, ‘높이(오차: 1.1%)’, ‘경사(오차: 1.6%)’, ‘붕괴이력(오차: 1.6%)’, ‘용수상태(오차: 4.5%)’ 항목은 가중치 배점이 적절한 것으로 분석되었다. 그러나 본 연구에서 평가한 붕괴인자의 가중치는 평가대상 사면의 샘플 수가 상대적으로 적고 특정 지역(평창군 및 인제군)의 붕괴사례만이 적용되어 있다는 점과 비파괴 사면에 대한 평가는 이루어지지 않았다는 점 등의 한계가 있다. 따라서 향후 평가대상 지역의 범위를 전국적으로 확대하여 평가대상 사면의 샘플 수를 늘이는 한편, 사면 붕괴인자의 적절한 평가배점과 항목에 대한 추가 보완 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

5. 결론

사면재해에 효과적으로 대응하기 위해서는 사면에 대한 관리와 점검을 병행하면서 사면 안정성에 영향을

미치는 요소에 대한 적절한 평가기준에 따라 사전에 위험성을 평가해야 한다. 사면 붕괴 위험도에 대한 연구의 공통된 문제의식은 평가항목별 배점비중의 비합리화를 들 수 있다. 동일한 항목이라 할지라도 사면 안정성에 미치는 영향 정도에 따라 차이가 발생할 수 있으므로 충분한 분석 및 통계자료 등을 통해 적절한 배점이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 국내에서 대표적으로 많이 사용되는 토사사면 평가방법을 NIDP(2009) 평가방법과 비교·분석하여 평가항목의 적성성과 평가항목의 배점비율을 검토하였다. NIDP(2009)의 평가법은 평가항목 수가 적으나 사면 높이 및 경사, 지질특성과 같은 항목과 인장균열 및 절리, 붕괴이력에 대한 필수적인 항목이 포함되어 있으나, 공학적 평가항목이 다소 부족하고 정밀한 평가항목이 없다는 점에서 향후 개선할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 또한, NIDP(2009) 토사사면 안정성 평가표에 적용되는 평가항목을 대상으로 ANN 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하여 사면붕괴 유발인자 가중치에 대한 배점을 분석하였다. 또한 NIDP(2009) 평가표에 제안된 주요인자의 평가비중과 ANN 분석을 통해 도출된 평가비중을 붕괴가 발생한 현장에 적용하여 사면 안정성을 평가함으로써 평가항목 가중치 배점에 대한 타당성을 검토하여 ANN 분석을 통해 도출된 평가비중으로 사면을 평가함이 보다 현실적인 결과를 도출함을 파악할 수 있었다. NIDP(2009)의 평가항목 중 ‘예상피해도’, ‘인장균열’, ‘계곡부’ 항목의 배점을 조정하여야 할 것으로 판단되었다. 반면에 ‘연경도’, ‘높이’, ‘경사’, ‘붕괴이력’, ‘용수상태’ 항목은 가중치 배점이 적절한 것으로 분석되었다.

그러나 본 연구에서 평가한 붕괴인자 가중치는 그 평가대상 사면의 지역이 한정되어 있다는 점과 조사 샘플 수가 상대적으로 적다는 점 등의 한계점을 내포하고 있다. 따라서 향후 평가대상 지역의 범위를 전국적으로 확대하여 평가대상 사면의 샘플 수를 늘이는 한편, 사면 붕괴인자의 적절한 평가배점과 항목에 대한 추가보완 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Al-Tuhami, A. A. (2000), “Neural networks : A solution for the factor of safety problems in slope”, *Proc. of 8th Int. Symp. On landslides. Cardiff*, Vol.1, pp.46-50.
2. Baek, Y., Bae, G. J., Kwon, O. I., Chang, S. H., and Koo. H. B.

- (2005), "Sensitivity Analysis of Input Parameters in Slope Stability Analysis", *Journal of KGS*, Vol.21, No.5, pp.77-82.
3. Choi, K. (1986), "Study on Major Causing Factors and Prediction of Landslides in Korea", *Doctoral Thesis*, Kangwon University.
 4. Hong, W. P., Song, Y. S., and Lim, S. G. (2005), "Stability Evaluation of the Cut Slope using Artificial Neural Network Model", *Journal of KSCE*, Vol.25, No.4, pp.275-283.
 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(KSEG)*, Vol.17, No.3, pp.393-404.
 6. Korea Institute of Construction Technology (KICT) (2002), *Development and Operation of Cut Slope Management System*.
 7. Korean Expressway Corporation (KEC) (2004), *Development of Cut Slope Maintenance System on the Highway*.
 8. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC) (2004), *Cut Slope Maintenance Manual*.
 9. Kim, Y. U., Kim, Y. S., Goo, N. S., and Park, J. H. (2006), "Application of Artificial Neural Network Reliable to Estimation Rigidity Index of Korean Soft Clay", *Journal of KSCE*, Vol.26, No.6, pp.421-429.
 10. National Disaster Management Institute (2011), *Developments of the GIS based steep slope collapse determination system (I)*, Primary Research Report.
 11. National Institute for Disaster Prevention (2009), *A Study on the Field Survey System Development for Steep Slope*, Primary Research Report.
 12. Neaupane, K. M. and Achet, S. H. (2004), "Use of backpropagation neural network for landslide monitoring: A case study in the higher Himalaya", *Engineering Geology*, Vol.74, pp.213-226.
 13. Ni, S. H., Lu, P. C., and Juang, C. H. (1995), "A fuzzy neural network approach to evaluation of slope failure potential", *Journal of Microcomputers in Civil Engineering*, Vol.11, pp.59-66.
 14. Paola, J. D. and R. A. Schowengerdt (1995), "A review and analysis of backpropagation neural networks for classification of remotely- sensed multi-spectral imagery", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.16, pp.3033-3058.
 15. Sakellariou, M. G. and Ferentinou, M. D. (2005), "A study of slope stability prediction using neural networks", *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol.23, pp.419-445.
 16. Song, Y. S., Hong, W. P., Chae, B. G., and Lee, C. O. (2005), "Application of Artificial Neural Network Model for Prediction of Cut Slope Failure", *Proceedings of Korean Society of Engineering Geology(KSEG) Conference 1993*, KSEG, pp.51-58.
 17. Song, Y. K., Oh, J. R., Park, D. G., and Son, Y. J. (2010), "Assessment of Factors affecting Steep-slope Failure using Artificial Neural Network", *Proceedings of KGS Conference 2010*, pp.1342-1348.
 18. Song, Y. K., Park, D. G., Son, Y. J., and Kim, T. H. (2012), "A study on the improvement of stability checklist by analyzing the evaluation element for steep slopes", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation(KSHM)*, Vol.12, No.4, pp.77-84.

(접수일자 2012. 7. 27, 심사완료일 2012. 10. 18)