

인공신경망을 활용한 암반사면 붕괴유발인자 평가 Assessment of Factors affecting Rock-Slope Failure using Artificial Neural Network

송영갑¹⁾, Youngkarb Song, 박덕근²⁾, Dugkeun Park, 손영진³⁾, Youngjin Son

- 1) 국립방재연구소 연구원, Researcher, National Institute for Disaster Prevention, NEMA
2) 국립방재연구소 시설연구관, Senior Analyst, National Institute for Disaster Prevention, NEMA
3) 국립방재연구소 연구원, Researcher, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

SYNOPSIS : Currently available evaluation checklists are developed for specific purposes using different parameters and items determined by different weighting factors. Those items with different weighting are sometimes said that they are based on the engineering judgement and leap of faith and, therefore, there is a limitation to adapt those checklists for slope-stability evaluation in the field. This study reviews factors affecting Rock-slope stability, analyze the relationship between those factors and slope failures using artificial neural network, and proposed a slope-stability evaluation model for adequate weighting for the factors.

Key words : rock-slop, neural network, failure factors, slope stability, weighting factors

1. 서 론

우리나라 급경사지 붕괴는 최근 10년간 전체 자연재해 사망자의 26.2%인 연평균 19.1명의 인명피해를 유발시킨다(국립방재연구소, 2009). 급경사지 붕괴는 인명피해 뿐만 아니라 사회기반시설 파괴 등 경제적 손실을 수반하게 되며, 경제 발전과 더불어 인공사면 등의 증가로 인해 급경사지 재해위험성은 매년 증가하고 있다. 현재 국내에서는 한국도로공사, 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원 등에서 각 기관별 관리대상인 고속도로, 국도 그리고 철도주변 급경사지 평가를 위해 평가표를 활용하고 있는 실정이다. 하지만 급경사지 평가표의 항목이 기관별로 상이하고 동일한 항목일지라도 평가배점이 다르고 조사자의 주관적 의견이 반영되어 통일성 및 신뢰성을 확보하기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 급경사지 불안정에 영향을 미치는 요인들의 가중치 분석을 위해 인공지능을 기반으로 하는 인공신경망 모델을 사용하여 붕괴유발요인의 상관관계를 규명하였다.

2. 암반사면 평가항목 분석

2.1 국내 암반사면 평가항목 분석

국내 암반사면 평가는 각 기관별 업무특성에 맞는 평가방법을 개발하여 사용 중에 있으며, 본 연구에서는 국내의 대표적인 평가방법(최경, 국립방재연구소, 한국건설기술연구원, 한국도로공사, 한국시설안전공단) 5개에 대해 분석을 실시하였다. 암반사면 평가에 포함되어 있는 항목은 기관별로 매우 다양하기 때문에 평가표별 항목비중분석을 통해 항목별 특성을 파악하여, 표 1에 평가표별 항목비중을 나타내어

보았다. 평가항목별 비중계산은 평가표 총점에 대한 항목별 최대점수의 백분율로 나타냈으며, 개별적인 급경사지 안정성 평가 항목을 조합하여 대상 급경사지의 형상과 관련된 ‘급경사지 형상’, 급경사지의 지질학적 요소와 관련된 ‘급경사지 상태’, 급경사지 내 불연속면과 관련된 ‘불연속면’, 시공된 보호공과 관련된 ‘보호공’, 급경사지 주변 환경이나 외부 조건과 관련된 ‘급경사지 환경’ 그리고 안정성 해석결과 및 주관적 위험도를 포함한 ‘안정성’ 등 총 6개의 대분류 항목으로 분류하여 수행하였다.

각 기관별 평가법 분석 결과 첫째, 최경의 평가법은 평가항목수가 가장 적으며, 급경사지 형상과 관련된 항목이 75.22%를 차지하므로 급경사지의 형상이 안정성 평가에 주요한 요인으로 작용한다. 급경사지 형상과 관련된 항목 중 횡단면형의 최대점수(3.97)가 안정성 평가 기준점수인 5.76점의 약 68.9%를 차지한다. 둘째, 국립방재연구소의 평가법은 불연속면과 관련된 항목들이 35.0%로 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다. 셋째, 한국건설기술연구원의 평가법은 RMR과 같은 안정성해석 결과와 관련된 항목이 44.44%로 가장 큰 비중을 차지하며, 두 번째로는 급경사지 형상과 관련된 항목(25.93%)이 높은 것으로 분석되었다. 넷째, 한국도로공사의 평가법은 급경사지의 붕괴 위험도를 감소시키는 인자들에 대해서는 (-)점수를 부여하도록 되어 있고 최대 비중을 차지하는 항목은 불연속면과 관련된 항목으로 전체 점수의 33.3%를 차지한다. 다섯째, 한국시설안전공단의 평가법은 사면종류별로 세분화하여 평가법을 적용하고 있으며 급경사지 환경과 안정성과 관련된 항목이 높은 것으로 분석되었다.

2.2 암반사면 주요 붕괴인자 분석 및 도출

기존 국내 암반사면 평가표이 경우 강우강도, 침투수, 배수상태 등의 항목은 평가 기준이 애매하고 주관적이라 조사자간 평가의 일관성을 기대하기 어려우며, 암반 사면과 토사 사면은 붕괴요인 등 제반영향인자에 따른 차별화된 평가항목이 부족하다. 또한, 국내 평가법의 경우 한국도로공사의 평가법을 제외하면 어떠한 평가법도 국내 지질특성에 대한 고려가 미흡한 실정이다. 급경사지의 안정성이 지질특성에 의해 크게 좌우되는 기존의 연구 결과들을 살펴볼 때 국내의 지질특성이 평가항목 내에 포함되어야 할 것으로 판단된다. 다음으로 급경사지 붕괴 가능성 판단에서 가장 중요한 점은 대상 급경사지의 붕괴이력이라고 볼 수 있으나 일부 평가표의 경우 붕괴관련 평가가 미흡하다는 단점이 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 기존의 국내 암반사면 평가표는 다양한 단점을 안고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 절에서는 기존 평가표의 단점을 분석하여 암반사면 주요 붕괴인자를 제안하고자 한다. 이를 위하여 첫째, 현장조사 시 조사자가 직접 관측을 통해 평가가 가능한 인자, 둘째로 불연속면의 특성과 풍화상태를 평가할 수 있는 인자. 셋째로는 국내 지질특성에 대한 인자, 넷째, 급경사지 붕괴에 관한 인자, 다섯째, 급경사지 붕괴발생 시 피해가 미치는 사회적 영향을 고려해 인명과 재산상의 피해정도를 평가할 수 있는 인자를 고려하여 12가지 암반사면 주요 붕괴인자(풍화도, 급경사지 높이, 급경사지 경사, 토층심도, 지질, 절리방향, 단층, 계곡부, 용수상태, 인장균열, 붕괴이력, 예상피해도)를 도출하였다.

3. 인공신경망

3.1 인공신경망 모델 구축 및 학습

본 연구에서는 암반사면 불안정에 영향을 미치는 요인들의 복잡한 상관관계 분석을 위해 인공신경망 상용소프트웨어인 NeuroSolutions™ Version 5.0를 사용하였다. 급경사지 붕괴유발인자를 예측을 위해 그림1과 같은 다층퍼셉트론(multilayer perceptron)모델을 이용하여, 은닉층의 수와 은닉층에 존재하는 뉴런의 수, 수렴기준, 전달함수 등을 변화시켜 설계하고, 예측값이 평균제곱오차($\epsilon = 0.01$)보다 작아지거나 최대 훈련 반복횟수(15,000회)에 도달되면 학습을 종료하도록 프로그램 하였다.

인공신경망 모델의 구축을 위해서는 학습단계와 검증단계에 사용될 신뢰성있는 자료의 축적이 요구된다. 본 연구에서는 붕괴가 발생된 총 22개소의 암반사면을 대상으로 2.2절에서 도출한 붕괴인자 항목을 적용하여 인공신경망 모델을 구축하였다. 인공신경망 모델 구축에 사용된 토사사면의 일반현황(급경사지의 연장, 경사 및 높이)은 그림 2(a) ~ (c)와 같다.

표 1 국내 암반사면 평가항목별 비중(국립방재연구소, 2009에서 수정)

구분	항목	평가법	최경 (1986)	국립 방재 연구소 (2001)	한국 건설기술 연구원 (2002)	한국 도로 공사 (2004)	한국시설 안전공단 (2004)		
				암반사면	암반사면		연약 암반사면	파쇄 암반사면	절리 암반사면
급경사지위험도평가	급경사지형상	급경사지 경사	5.83	20	14.82	6.67	10.5	10.5	10.5
		급경사지 높이	-	-	11.11	10	-	-	-
		급경사지 길이	-	-	-	-	-	-	-
		경사길이	21.87	-	-	-	-	-	-
		경사위치	14.58	-	-	-	-	-	-
		횡단면형	28.94	-	-	-	-	-	-
		종단면형	4.01	-	-	3.33	-	-	-
	소계(%)	75.22	20	25.93	20	10.5	10.5	10.5	
	급경사지상태	지질특성	17.35	-	-	10	-	-	-
		토질특성	-	-	-	3.33	-	-	-
		연경도	-	10	-	-	5.3	-	-
		풍화상태	-	-	-	6.67	10.5	-	-
		토층심도	-	-	-	-	-	-	-
		급경사지 상태	-	-	-	-	5.3	5.3	5.3
	소계(%)	17.35	10	-	20	21.1	5.3	5.3	
	불연속면	균열 개수	-	-	-	3.33	-	-	-
		절리 외 불연속면유무	-	-	7.41	3.33	-	-	-
		절리방향	-	20	-	13.33	-	-	10.5
		절리경사	-	-	-	10	5.3	5.3	10.5
		특수지질	-	-	-	10	-	-	-
		암석강도	-	-	-	3.33	-	-	-
		불연속면상태	-	7	-	-6.67	-	10.5	10.5
	SEAM층	-	8	-	-	-	-	-	
	소계(%)	-	35	7.41	33.32	5.3	15.8	31.5	
	보호공	급경사지 보호공	-	-	-	-10	-	-	-
		보호공 상태	-	10	7.41	-	10.5	10.5	10.5
		공법 중요도	-	-	-	-	-	-	-
		소계(%)	-	10	7.41	-10	10.5	10.5	10.5
	급경사지환경	임분경급	7.43	-	-	-	-	-	-
		집수지형	-	-	-	3.33	-	-	-
		배수상태	-	-10	-	-	10.5	5.3	5.3
		지하수/용수	-	-	7.41	3.33	10.5	10.5	5.3
		강우강도	-	15	-	-	10.5	10.5	5.3
		상부급경사지경사/도로	-	-	3.70	3.33	-	-	-
		계곡부	-	-	3.70	-	-	-	-
		침투수	-	10	-	-	-	-	-
	소계(%)	7.43	15	14.81	9.99	31.5	26.3	15.9	
	안정성	RMR 점수	-	-	22.22	-	-	-	-
		붕괴이력	-	-	7.41	6.67	5.3	5.3	5.3
		안정성해석	-	-	3.70	-	-	-	-
		위험구간비	-	-	-	-	-	-	-
		주관적 위험도	-	-	11.11	-	15.8	26.3	21
	소계(%)	-	-	44.44	6.67+a	21.1	31.6	26.3	

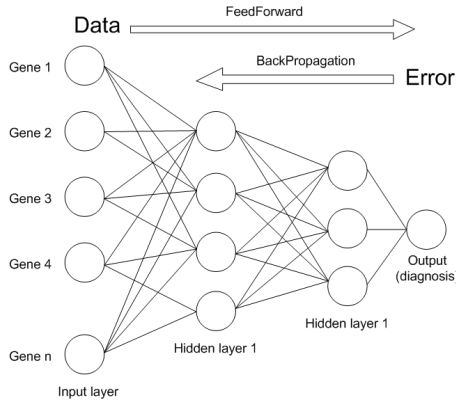


그림 1. 인공신경망 모델(김영욱 등, 2006)

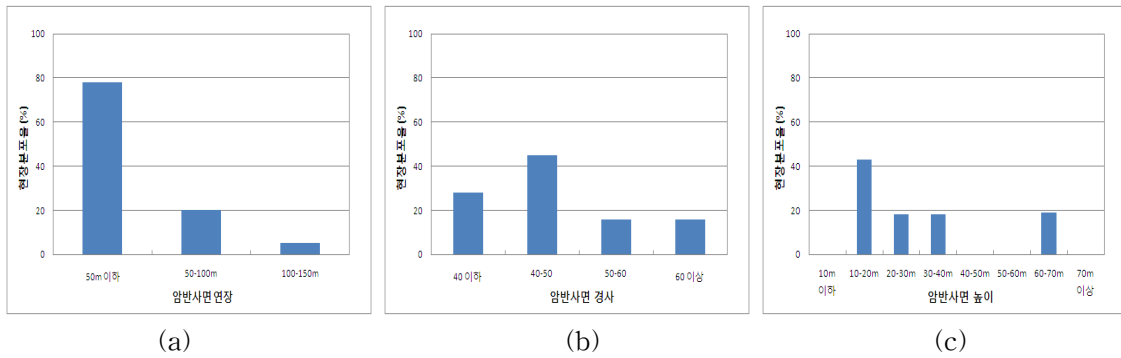


그림 2 암반사면 일반 현황

3.2 인공신경망 민감도 분석

12가지 암반사면 주요 붕괴인자를 입력변수, 급경사지 안정해석결과와 주관적 위험도를 출력변수로 고려하여 불확실성을 평가하는 일종의 확률론적인 방법인 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하였다. 인공신경망 모델설계 결과, 은닉층 수는 2개, 모멘텀항은 0.7, 각 층의 전이함수는 Sigmoid Function으로 구성하고, 데이터를 Training data(50%)-Validation data(40%)-Testing data(10%)로 분할·검증하는 모델이 가장 높은 상관계수($R = 82\%$)를 나타내었다. 급경사지 붕괴영향인자의 민감도 분석 결과 단층(14.5%), 용수상태(14.1%), 지질(12.9%), 경사(14.0%), 높이(9.4%), 토층심도(8.2%), 절리방향(7.3%), 인장균열(6.9%), 풍화도(4.5%), 붕괴이력(3.9%), 피해도(3.9%), 계곡부(0.6%)순으로 가중치가 산정되었다(그림 3). 이러한 결과는 앞서 분석한 6개의 대분류 항목 중 ‘불연속면’과 관련된 항목이 급경사지 불안정에 가장 많은 영향을 주는 것으로 분석되었다.

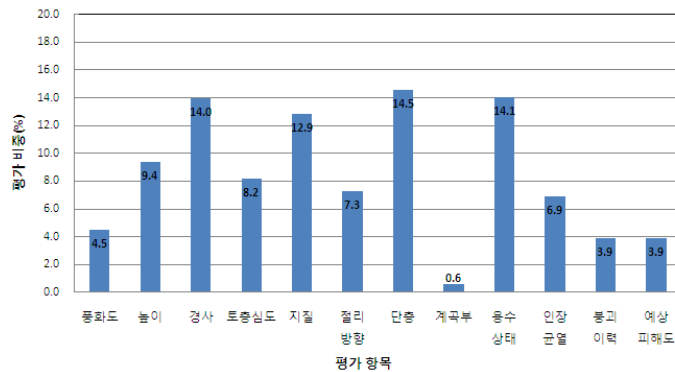


그림 3. 암반사면 민감도 분석 결과

암반사면 주요 붕괴인자 각 평가항목에 대한 가중치에 대한 검증은 22개 붕괴암반사면에 대해 인공신경망의 구축 시 학습과정에 사용되지 않은 자료를 사용하여 분석하였으며 결과는 그림 4와 같다. 검증 자료의 경우 전체자료에서 임의적으로 선택되었고 인공신경망의 구축 시 학습과정에 전혀 사용되지 않았음에도 불구하고 학습 자료의 경향을 반영하여 정확한 예측이 수행되었음을 나타낸다. 따라서 인공신경망 모델링이 급경사지 붕괴유발요인의 상관관계를 규명하는데 효과적이라 할 수 있다.

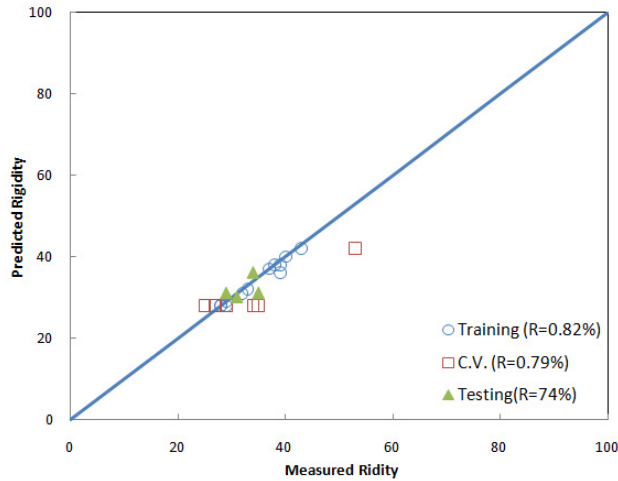


그림 4. 가중치에 대한 검증 결과

4. 결론

본 연구에서는 붕괴가 발생된 국내 22개소의 암반사면을 대상으로 인공신경망을 구축하고 검증하였다. 암반사면 불안정에 영향을 미치는 요인들의 복잡한 상관관계 분석은 12가지 주요붕괴인자를 도출하여 입력변수로 설정하고, 급경사지 안정해석결과와 주관적 위험도를 출력변수로 고려하였으며, 보다 신뢰성 있는 분석결과를 도출하기 위해 은닉층의 수와 모멘텀 상수, 수렴기준, 자료 분할 등을 변화시키면서 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하였다.

민감도 분석결과 단층(14.5%), 용수상태(14.1%), 지질(12.9%), 경사(14.0%), 높이(9.4%), 토층심도(8.2%), 절리방향(7.3%), 인장균열(6.9%), 풍화도(4.5%), 붕괴이력(3.9%), 피해도(3.9%), 계곡부(0.6%)순으로 가중치가 산정되었다. 또한 분석된 붕괴유발요인 가중치에 대한 검증 결과 오차가 비교적 크지 않아 급경사지 안정성 평가에 대한 적절한 기준을 제시할 수 있을 것이라 기대된다.

참고문헌

1. 김영욱, 김영상, 구남실, 박지호(2006), 국내 연약지반의 신뢰성 있는 강성지수 추정을 위한 인공신경망 이론의 적용, 대한토목학회지, 제 26권, 제 6호, pp.421~429.
2. 국립방재연구소(2001), 재해영향평가서 사면안정성 평가법 개발, 연구보고서, NIDP-2001-09
3. 국립방재연구소(2009), 급경사지 안정요소 분석 및 해석방안 연구, 연구보고서 NIDP-PR-2008-13
4. 최경(1986), 한국의 산사태 발생 요인과 예지에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교 대학원
5. 한국건설기술연구원(2002), 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용
6. 한국도로공사(2004), 고속도로 절토사면 유지관리시스템 개발 연구
7. 한국시설안전공단(2004), 절토사면유지관리매뉴얼