

인공신경망을 활용한 급경사지 붕괴유발인자 평가

Assessment of Factors affecting Steep-slope Failure using Artificial Neural Network

송영갑¹⁾, Youngkarb Song, 오정립²⁾, Jeongrim Oh, 박덕근³⁾, Dugkeun Park, 손영진⁴⁾, Youngjin Son

¹⁾ 국립방재연구소 연구원, Researcher, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

²⁾ 국립방재연구소 시설연구사, Analyst, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

³⁾ 국립방재연구소 시설연구관, Senior Analyst, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

⁴⁾ 국립방재연구소 연구원, Researcher, National Institute for Disaster Prevention, NEMA

SYNOPSIS : Currently available evaluation checklists are developed for specific purposed 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 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.

Keywords : artificial neural network, failure factors, slope stability, weighting factors, evaluation item

1. 서 론

최근 우리나라 뿐 아니라 전 세계적으로 기상이변에 의한 집중호우가 빈번히 발생되고 있으며, 이로 인해 자연재해 사망자수도 급격히 증가되고 있는 실정이다. 우리나라 급경사지 붕괴는 연평균 19.1명의 인명피해를 유발하며 전체 자연재해사망자의 26.2%를 차지한다(국립방재연구소, 2009). 급경사지 붕괴로 인한 사회적, 경제적 손실을 줄이기 위해서는 급경사지 붕괴위험지역의 개발을 제한하고 급경사지 안정성에 영향을 미치는 요소에 대한 적절한 기준을 제시하여 급경사지를 효율적으로 관리하여야 한다.

현재 국내에서는 한국도로공사(2004), 한국건설기술연구원(2002), 한국철도기술연구원(2004) 등에서 각 기관별 관리대상인 고속도로, 국도 그리고 철도주변 급경사지 안정성 분석을 위해 평가표를 활용하고 있다. 이들 평가방법은 제안자의 주관적인 견해에 따라 평가항목과 각 평가항목에 대한 가중치가 달리 적용되어 동일한 급경사지에 대해서도 서로 상이한 평가가 도출될 수 있다. 따라서 현재 연구자들은 급경사지의 불안정성에 영향을 미치는 요인들을 객관적으로 선별하고 이러한 요인들을 토대로 다양한 통계분석에 따른 급경사지 안정성평가에 대한 모델을 개발하고자 노력하고 있다(강태승 등, 2007).

본 연구에서는 급경사지 불안정에 영향을 미치는 요인들의 복잡한 상관관계 분석을 위해 인공지능을 기반으로하는 인공신경망 모델을 사용하였다. 이를 위하여 붕괴가 발생한 28개소의 토사사면을 대상으로 입력변수와 설정된 모델 출력변수간의 불확실성을 평가하는 일종의 확률론적 방법인 민감도 분석을 실시하였다.

2. 급경사지 평가항목 분석

2.1 국내외 급경사지 안정성 평가법

국내에서 사용되는 급경사지 안정성 평가방법은 평가대상 급경사지 종류와 평가 목적에 따라 적절하게 제안되었지만, 급경사지 붕괴가 여러 요인들의 복합적인 작용에 의해 발생한다는 점과 안정성에 영향을 줄 수 있는 모든 요인에 대한 점수화가 어렵다는 점에서 평가결과에 대한 정확도는 아직 신뢰하기 어려운 실정이다.

국외에서는 자국의 급경사지 실정과 지반 및 지질특성 등이 안정성에 영향을 미치는 평가항목을 선정하여 자체적인 급경사지 안정성 평가기법을 개발·운용 중에 있다. 각각의 안정성 평가기법은 다양한 평가기준을 제시하고 있으며, 대상 급경사지나 구조물에 따라 적절한 평가방법을 활용하고 있다. 대표적인 국외 급경사지 안정성 평가기법으로는 호주, 홍콩, 일본과 미국의 평가표가 있으며, 일본의 경우 일본 건설성, 도로공단, 국철의 급경사지 안정성 평가방법이, 미국의 경우 미도로연방국의 낙석위험평가법 등이 사용되고 있다. 또한 홍콩 및 일본의 평가법에서 강조가 되고 있는 것은 자국의 지질특성과 관련된 항목이다. 국내 평가법의 경우, 한국도로공사와 한국철도기술연구원의 평가법을 제외하면 지질특성에 대한 평가항목이 부족한 것으로 판단된다. 지질특성이 급경사지의 안정성에 미치는 영향이 크에도 불구하고 국내 평가법에서 반영되지 않은 것은 국내의 급경사지 붕괴 유형과 지질 특성에 대한 연구가 아직 미비하기 때문으로 판단된다. 따라서 추후 급경사지 평가법 개선 시 국내 지질특성에 대한 항목을 추가시켜 지질에 따른 국내 급경사지 위험성을 판단하고 붕괴양상을 파악할 수 있는 기초 자료로 활용해야 할 것이다.

2.2 국내 급경사지 평가항목 비중 분석

각 평가법에 대해 평가 항목에 미치는 영향과 배점분포를 비교하기 위하여 국내 토사사면 안정성 평가법의 붕괴 위험도 항목을 추출하여 항목별 비중을 계산하였다(표 1). 항목별 비중은 최대 획득 가능한 점수 대비 각 항목이 가질 수 있는 최대점수를 비율로 나타내었다.

급경사지 안정성 평가 항목을 조합하여 대상 급경사지의 형상과 관련된 ‘급경사지 형상’, 급경사지가 가지는 지질학적 요소와 외관과 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’ 총 6개의 대분류 항목으로 분류하였다.

각 기관별 평가법 분석 결과 첫째, 최경의 평가법은 평가항목 개수가 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 차지(총점 13.72점 기준 28.9%)한다.

둘째, 국립방재연구소의 평가법은 c(점착력), Φ (내부마찰각)을 고려한 연경도 항목이 존재하며 급경사지 형상과 상태를 나타내는 항목들의 비중이 30.0%로 가장 많이 차지한다.

셋째, 한국건설기술연구원의 평가법은 급경사지 높이 항목이 14.56%, 경사항목이 21.81%이므로, 급경사지 형상과 관련된 항목(36.37%)의 비중이 가장 크다. 두 번째로는 안정성과 관련된 항목(21.82%)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 급경사지 환경(36.8%) 항목이 가장 비중이 높았으며, 다음으로 안정성(21.1%) 항목 순으로 높은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.

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

구분	항목	평가법	최경(1986)	국립 방재연구소 (2001)	한국 건설기술 연구원 (2002)	한국 도로 공사 (2004)	한국시설 안전공단 (2004)
				토사급경사지	토사급경사지		토사급경사지
급경사지 위험도 평가	급경사지 형상	급경사지 경사	5.83	30	21.81	6.67	10.5
		급경사지 높이	-	-	14.56	10	-
		급경사지 길이	-	-	-	-	-
		경사길이	21.87	-	-	-	-
		경사위치	14.58	-	-	-	-
		횡단면형	28.94	-	-	-	-
		종단면형	4.01	-	-	3.33	-
		소계(%)	75.22	30	36.37	20	10.5
	급경사지 상태	지질특성	17.35	-	-	10	-
		토질특성	-	10	10.91	3.33	10.5
		연경도	-	20	-	-	-
		풍화상태	-	-	-	6.67	-
		토층심도	-	-	-	-	5.3
		급경사지 상태	-	-	-	-	-
		소계(%)	17.35	30	10.91	20	15.8
	불연속면	균열 개수	-	-	-	3.33	-
		절리 외 불연속면유무	-	-	7.27	3.33	-
		절리방향	-	-	-	13.33	-
		절리경사	-	-	-	10	-
		특수지질	-	-	-	10	-
		암석강도	-	-	-	3.33	-
		불연속면상태	-	-	-	-6.67	-
		소계(%)	-	-	7.27	33.32	-
	보호공	급경사지 보호공	-	-	-	-10	5.3
		보호공 상태	-	10	7.27	-	10.5
		공법 중요도	-	-	-	-	-
		소계(%)	-	10	7.27	-10	15.8
	급경사지 환경	임분경급	7.43	-	-	-	-
		집수지형	-	-	-	3.33	5.3
		배수상태	-	-10	-	-	10.5
		지하수/용수	-	-	7.27	3.33	10.5
		강우강도	-	20	-	-	10.5
		상부급경사지경사/도로	-	-	3.64	3.33	-
		계곡부	-	-	5.45	-	-
		소계(%)	7.43	20	16.36	9.99	36.8
	안정성	RMR 점수	-	-	-	-	-
		붕괴이력	-	-	7.27	6.67	5.3
		안정성해석	-	-	3.64	-	-
		위험구간비	-	-	-	-	-
		주관적 위험도	-	-	10.91	-	15.8
		소계(%)	-	-	21.82	6.67+a	21.1

3. 인공신경망

3.1 인공신경망 모델 구축

신경망이란 사고, 학습인식 등 인간과 유사한 지능을 실현하기 위해 인간의 뇌신경 조직을 모형화한 것으로 신호처리, 제어, 패턴인식, 의학 분야 뿐만 아니라 지반공학분야에서도 다양하게 활용하고 있다 (황명기, 2003).

학습과 일반화의 두 가지 기능을 지니고 있는 신경망의 특징은 연결가중치의 단계적 조정으로 수행된 학습을 통하여 신경망의 성능을 향상시키며, 학습되지 않은 경우에 대해서도 일반화된 기능을 이용하여 합리적인 해를 제공한다. 본 연구에서는 급경사지 불안정에 영향을 미치는 요인들의 복잡한 상관관계 분석을 위해 그림 1와 같이 입력층과 은닉층, 출력층으로 구성된 다층구조의 인공신경망 모델을 사용하였다.

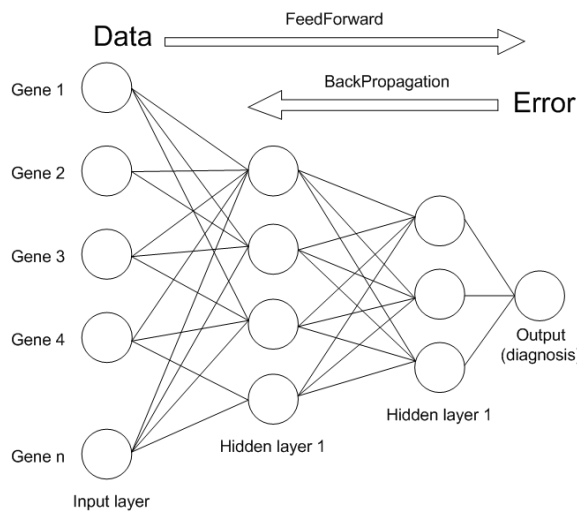


그림 1. 인공신경망 모델(김영욱 등, 2006)

인공신경망 모델의 구축을 위해서는 학습단계와 검증단계에 사용될 신뢰성있는 자료의 축적이 요구된다. 본 연구에서는 붕괴가 발생된 총 28개소의 토사사면을 대상으로 국립방재연구소에서 제안한 급경사지 위험도 평가 항목(국립방재연구소, 2009)을 적용하여 인공신경망 모델을 구축하였다. 인공신경망 모델 구축에 사용된 토사사면의 일반현황(급경사지의 연장, 경사 및 높이)은 그림 2(a) ~ (c)와 같다.

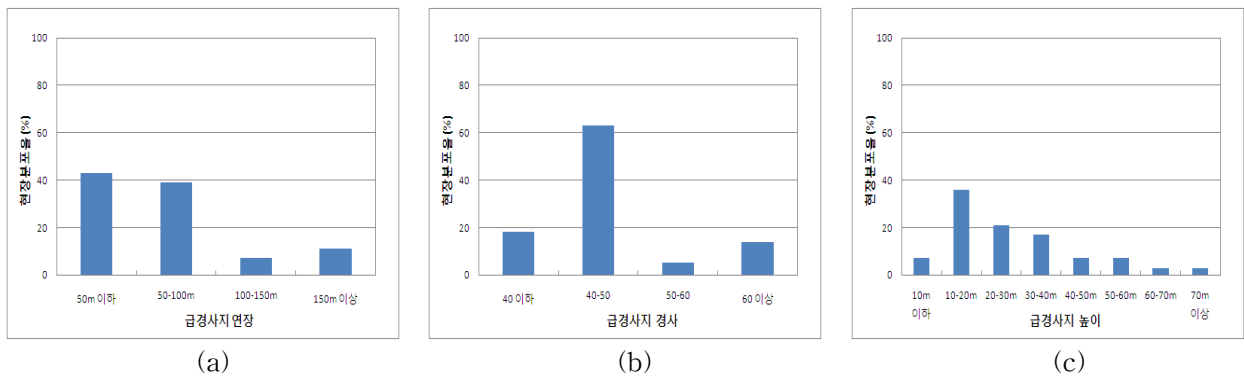


그림 2 급경사지 일반 현황

3.2 인공신경망 모델 설계 및 학습

지금까지 인공신경망 모델에 존재하는 은닉층의 수와 각 층에 존재하는 뉴런의 수를 결정하는 체계적인 방법은 확립되어 있지 않으며 대부분 경험적인 반복법을 통하여 구축되어져 왔다. 따라서 동일 자료라 하더라도 은닉층의 수와 은닉층 내의 뉴우런의 수, 입력변수, 사용된 전달함수, 훈련규칙과 최적화 기법, 수렴기준 등에 따라 모델의 구성과 예측결과가 달라질 수 있다(김영욱 등, 2006).

본 연구에서는 상용소프트웨어인 NeuroSolutions™ Version 5.0의 다층퍼셉트론(multilayer perceptron) 모델을 사용하여 은닉층의 수와 은닉층에 존재하는 뉴런의 수, 수렴기준 등을 변화시키면서 급경사지 붕괴유발인자를 예측하도록 설계하였으며, 전달함수로는 쌍곡탄젠트함수(Tanh Function)와 시그모이드함수(Sigmoid Function)를 사용하였다.

인공신경망의 모델구축을 위한 설계조건은 표 2와 같다.

표 2. 인공신경망의 모델구축 설계조건

Activation function	Hidden layer	Learning rule sept size	Momentum
Tanh Function, Sigmoid Function	1, 2, 3	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9,	0.7, 0.8, 0.9

인공신경망 학습규칙 기준은 식 1과 같으며, 학습규칙은 입력값과 결과값의 비선형적인 관계를 구축하는 함수근사화에 매우 효율적인 것으로 알려진 오차역전파 알고리즘이 사용되었다.

$$MSE = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^Q e(k)^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^Q (t(k) - a(k))^2 \quad (\text{식 1})$$

여기서, MSE = 평균제곱오차, Q = 학습에 사용된 전체자료의 수, $e(k) = t(k) - a(k)$ = 목표값과 출력값의 차이로 오차를 의미한다. 가중치(weight)와 바이어스(bias)를 최적화하기 위한 성능함수(performance fuction)로는 식 (1)과 같이 인공신경망 모델이 제공하는 출력값[$a(k)$]과 관측값이 목표값[$t(k)$]으로 정의되는 평균제곱오차(mean squared error, mse)가 이용되었으며, 평균제곱오차 값이 목표(goal)로 하고 있는 평균제곱오차 값($\epsilon = 0.01$)보다 작아지거나 최대 훈련 반복횟수(15,000회)에 도달되면 학습을 종료하도록 프로그램 하였다.

3.3 인공신경망 민감도 분석

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(uncertainly analysis)과 밀접한 관계가 있다(백용 등, 2006).

본 연구에서는 국립방재연구소에서 제안한 토사사면 위험도 평가항목을 입력변수, 급경사지 안정해석 결과와 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.

인공신경망 모델설계 결과는 표 3에서와 같이 8개의 입력자료, 은닉층 수는 1개, 모멘텀항은 0.7, 각 층의

전이함수는 Sigmoid Function으로 구성하고, 데이터를 Training data(50%)-Validation data(30%)-Testing data(20%)로 분할·검증하는 모델이 가장 높은 상관계수(R = 89%)를 나타내었다.

표 3. 급경사지 신경망모델의 설계구성

구분	Input data	Activation function	Hidden layer	Training-Validation-Test	Momentum	Output data
토사 급경사지	연경도, 높이, 경사, 계곡부, 용수상태, 인장균열, 붕괴이력, 예상피해도	Sigmoid Function $f(x) = \tanh(x)$	1	50% - 30% - 20%	0.7	안정해석 + 주간적 위험도

급경사지 붕괴영향인자의 민감도 분석 결과는 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 가중치가 산정되었다(그림 3). 이러한 결과는 앞서 분석한 6개의 대분류 항목 중 ‘급경사지 환경’과 관련된 항목이 급경사지 불안정에 가장 많은 영향을 주는 것으로 분석되었다. 이는 강우강도나 집수지형이 급경사지 안정성에 가장 중요한 변수로 작용하는 것을 의미한다. 또한, 국립방재연구소(2009)에서 수행한 수치해석결과와 마찬가지로 급경사지 높이가 안정성에 미치는 영향이 급경사지 경사에 비해 현저하게 낮은 것으로 분석되었다.

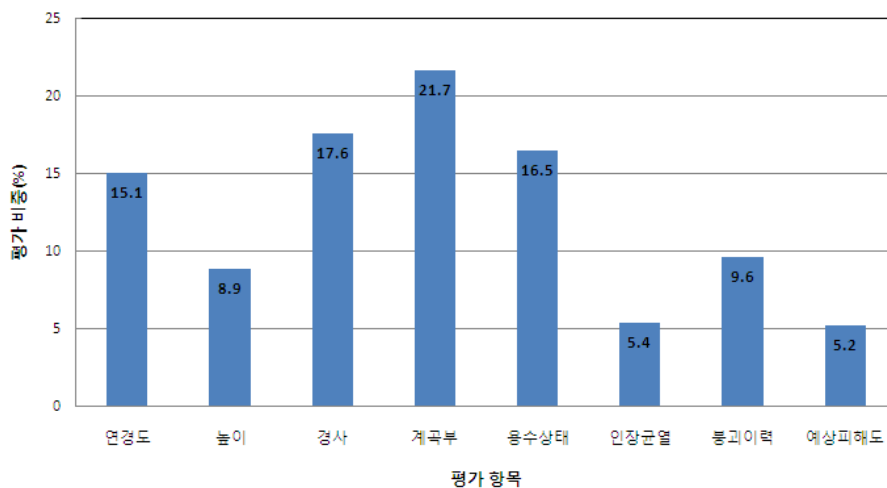


그림 3. 토사사면 민감도 분석 결과

토사사면의 각 평가항목에 대한 가중치에 대한 검증 결과는 그림 4와 같이 높은 상관관계(r= 89%)를 나타내었다. 이것은 학습과정에서 검증자료의 경우 전체자료에서 임의적으로 선택되었고 인공신경망의 구축 시 학습과정에 전혀 사용되지 않았음에도 불구하고 학습자료의 경향을 반영하여 정확한 예측이 수행되었음을 나타낸다. 따라서 인공신경망 모델링이 급경사지 붕괴유발요인의 상관관계를 규명하는데 효과적이라 할수 있다. 또한 본 연구를 통해 분석된 붕괴유발요인 가중치에 대한 검증 결과 오차가 비교적 크지 않아 급경사지 안정성 평가에 대한 적절한 기준을 제시할 수 있을 것이라 판단된다.

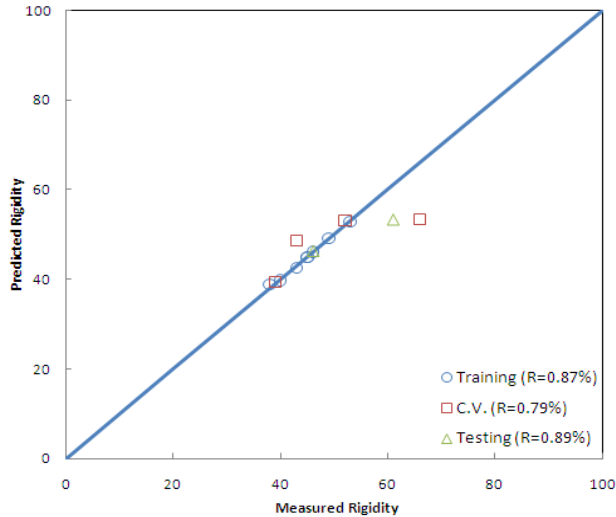


그림 4. 가중치에 대한 검증 결과

4. 결론

본 연구에서는 붕괴가 발생된 국내 28개소의 토사사면을 대상으로 인공신경망을 구축하고 검증하였다. 급경사지 불안정에 영향을 미치는 요인들의 복잡한 상관관계 분석은 국립방재연구소에서 제안한 급경사지 위험도 평가 항목을 입력변수, 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 계곡부, 경사, 용수상태, 연경도, 붕괴이력, 높이, 인장균열, 예상피해도 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.

본 연구에서는 민감도 해석대상을 붕괴가 발생된 28개소의 토사사면만을 사용하였으나 향후 보다 신뢰적인 가중치 산정을 위해서는 붕괴가 발생한 급경사지 뿐 아니라 붕괴가 발생되지 않은 급경사지에 대한 적용, 인공신경망 모델 기법과 설계변수들에 대한 포괄적이고 체계적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강태승, 엄정기(2007), 다중회귀분석을 통한 경남 지방도로 절취사면의 안정성 평가, 대한지질공학회지, 제 17권, 제 3호, pp.393~404
2. 김영욱, 김지형, 황명기(2003), 초음파-토양수세법을 이용한 오염물 복원증대에 인공신경망의 적용, 한국지반공학학회지, 제 19권, 제 6호, pp.343~351.
3. 김영욱, 김영상, 구남실, 박지호(2006), 국내 연약지반의 신뢰성 있는 강성지수 추정을 위한 인공신경망 이론의 적용, 대한토목학회지, 제 26권, 제 6호, pp.421~429.
4. 국립방재연구소(2001), 재해영향평가서 사면안정성 평가법 개발, 연구보고서, NIDP-2001-09
5. 국립방재연구소(2009), 급경사지 안정요소 분석 및 해석방안 연구, 연구보고서 NIDP-PR-2008-13
6. 백용, 배규진, 권오일, 장수호, 구호본(2005), 사면 안정해석에 적용되는 입력 인자들의 민감도 분석, 한국지반공학학회지, 제 21권, 제 5호, pp.77~82.
7. 최경(1986), 한국의 산사태 발생 요인과 예지에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교 대학원
8. 한국건설기술연구원(2002), 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용
9. 한국도로공사(2004), 고속도로 절토사면 유지관리시스템 개발 연구
10. 한국시설안전공단(2004), 절토사면유지관리매뉴얼