

## 절개사면의 사면붕괴 예측을 위한 인공신경망모델 적용

송영석

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

홍원표

중앙대학교 공과대학 건설환경공학과

채병곤

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

이춘오

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

### 1. 서 론

인간의 뇌는 수많은 뉴런들이 거미줄처럼 연결되어 있는 신경망 구조를 이루고 있다. 이러한 뇌의 신경망 구조를 모델링한 것이 바로 인공신경망 모델이다. 인공신경망 모델은 오래전부터 연구되기 시작하였으나 컴퓨터의 급속한 발전으로 인하여 관심을 끌지 못하였다. 그러나 최근에 이르러 컴퓨터의 약점을 보완하기 위하여 다시 새로운 연구 분야로서 주목을 받고 있다. 특히 주목해야 할 점은 신경망 모델에 관한 연구가 의학, 전자, 컴퓨터 등 다양한 학문 분야에서 진행되고 있다는 것이다(Tsoukalas and Uhlirig, 1977).

최근에는 사면안정 및 산사태 관련분야에서도 인공신경망을 적용한 연구가 수행되고 있다. Mayoraz et al.(1997)은 붕괴사면의 변위와 속도를 예측하고, 이 결과를 이용하여 사면안정성을 예측하는데 적용시킨바 있다(Vulliet and Mayoraz, 2000). 그리고, Neaupane and Achet(2004)은 히말라야 산에 시공되는 고속도로 주변의 사면에 대한 거동을 예측하고 실제 계측을 수행하여 비교 검토하는데 적용하였다. 홍원표 외 3인(2004)은 토질물성, 지형 및 지질데이터를 적용하여 국내 자연사면에 대한 산사태를 예측한 바 있다.

본 연구에서는 사면의 기하학적 요소, 지반 공학적 요소 및 강우의 요소를 적용하여 인공신경망모델을 개발하고, 이를 통하여 절개사면에서의 사면파괴 가능성을 예측하고자 한다. 이를 위하여 먼저 사면의 기하학적 요소, 지반공학적 요소 및 강우의 요소에 해당하는 사면안정성 평가인자를 추출한다. 이와 같이 추출된 사면안정성 평가인자를 토대로 인공신경망 모델을 개발하고, 이를 토대로 프로그램을 개발한다. 적용된 인공신경망 모델의 알고리즘은 현재까지 가장 보편적이고, 정확성을 보이고 있는 오류역전파(error back propagation) 알고리즘(Rumelhart et al., 1986)을 채택한다. 또한, 실제 사면붕괴 및 미붕괴 현장을 대상으로 적용하여 개발된 인공신경망 모델의 적합성을 검증하고자 한다.

### 2. 인공신경망모델 적용인자 및 자료

#### 2.1. 인공신경망모델 적용인자

한계평형해석법과 사면 위험성평가법에 적용된 인자들을 정리하고, 강우와 관련된 국내 사면파괴 및 산사태 연구 결과들을 토대로 하여 인공신경망모델에 적용하기 위한 인자를 추출하였다. 한계평형해석법의 경우 실제 사면안전율 계산에 필요한 항목인 점착력, 내부마찰각, 단위중량, 사면높이 및 사면경사를 선정하였다. 그리고 사면 위험성평가법의 경우 국내외 여러 기관에서 제안된

방법에 공통적으로 적용되는 사면높이, 사면경사각, 상재하중, 토질조건, 암반조건, 강우량, 강우강도 등을 선정하였다. 따라서 인공신경망 모델에 적용될 인자는 사면의 기하학적 요소로서 사면경사각, 사면높이, 상재하중을 선정하였고, 지반 공학적 요소로서 전체토층깊이, 각 토층의 깊이, 점착력, 내부마찰각, 단위중량을 선정하였다(홍원표 외 2인, 2004).

한편, 인공신경망 모델에 적용될 강우의 요소를 선정하기 위하여 홍원표 외 4인(1990), 이영남(1991), 박용원 외 2인(1993), 김상규(1994), Kim & Chae(1998) 등의 국내 연구결과를 분석하였다. 이를 토대로 인공신경망 모델에 적용될 강우의 요소로서 최대시간강우강도와 2일 누적강우량을 선정하였다(홍원표 외 2인, 2004).

## 2.2. 인공신경망모델 적용자료

인공신경망 모델에 적용된 자료는 1987년도부터 2002년까지 서울, 부산, 대전, 경기도 부천, 강원도 정선, 태백, 충청북도 옥천, 단양, 충청남도 진안, 경상남도 마산, 창원, 진해, 거제, 통영, 전라북도 군산, 전라남도 여수 등 국내 16개 지역에서 조사된 총 96개의 사면조사자료를 대상으로 하였다(건설교통부, 1994; 경기도, 1997; 고려대학교, 1994; 단양군, 1995; 대한토목학회, 1987; 1991; 1993; 2001; 대한토질공학회, 1990; 부산대학교, 1987; 1990; 비엔지컨설팅, 1997; 삼성중공업, 1999; 서울시립대학교, 1993; 2000; 전라북도, 1994; 중앙대학교, 1995; 1997; 2003; 한국건설기술연구원, 1998; 한국도로공사, 1995; 1996; 한국지반공학회, 1994; 한국토지공사, 1999; 한남지질주식회사, 1989). 96개소의 사면조사자료는 사면파괴가 발생된 26개소와 사면파괴가 발생되지 않은 70개소로 구성되어 있다.

각각의 자료는 앞서 선정된 인공신경망모델 적용 인자별로 구분하여 정리하였다. 즉, 사면의 기하학적 요소 및 지반 공학적 요소들은 사면조사자료를 이용하여 정리하였으며, 강우의 요소는 기상청에 의뢰하여 해당년도 및 해당지역의 강우기록을 정리하였다.

## 3. 인공신경망모델 개발

### 3.1. 신경망 구조

본 연구에서는 인공신경망의 훈련방법 중의 하나인 오류역전파 알고리즘을 적용하였다. 전형적인 오류역전파 신경망의 구조는 입력층, 은닉층 및 출력층으로 구성되어 있다. 대부분의 다층신경망의 학습은 Rumelhart et al.(1988)에 의해서 제시된 오류역전파 알고리즘을 사용하여 수행할 수 있다. 이 알고리즘은 주어진 입력에 대하여 원하는 출력결과를 학습시키고자 할 때 사용되며, 출력층의 각 뉴런에서 발생되는 출력오차를 각 층으로 역으로 전파시켜 나가면서 연결링크의 가중치 수정을 통해 오차를 최소화시키는 기법이다.

오류역전파 알고리즘에서 일반적으로 1개 혹은 2개의 은닉층을 사용하게 된다. 따라서 본 연구에서도 은닉층의 수가 1개인 경우와 2개인 경우를 학습에 사용하였다. 또한, 입력인자중에서 BIAS(편견)값을 1로 설정하였으며, 은닉층의 노드개수는 2개에서 15개로 조정하여 최적의 오차값을 갖는 구조를 선택하였다. 입력된 데이터는 2.2절에서 언급된 자료를 사용하였으며, 데이터의 정확성을 높이기 위해 0~1사이로 정규화하여 입력하였다.

그림 1은 본 연구에서 적용된 인공신경망 구조로서 은닉층이 두개인 경우를 각각 나타낸 것이다. 학습에 적용된 인자는 총 14가지로서 사면경사, 사면높이, 상재하중, 전체토층깊이, 첫 번째 층

의 깊이, 점착력, 내부마찰각, 단위중량, 두 번째 층의 깊이, 점착력, 내부마찰각, 단위중량, 최대시 간강우강도, 2일 누적강우량을 사용하였다.

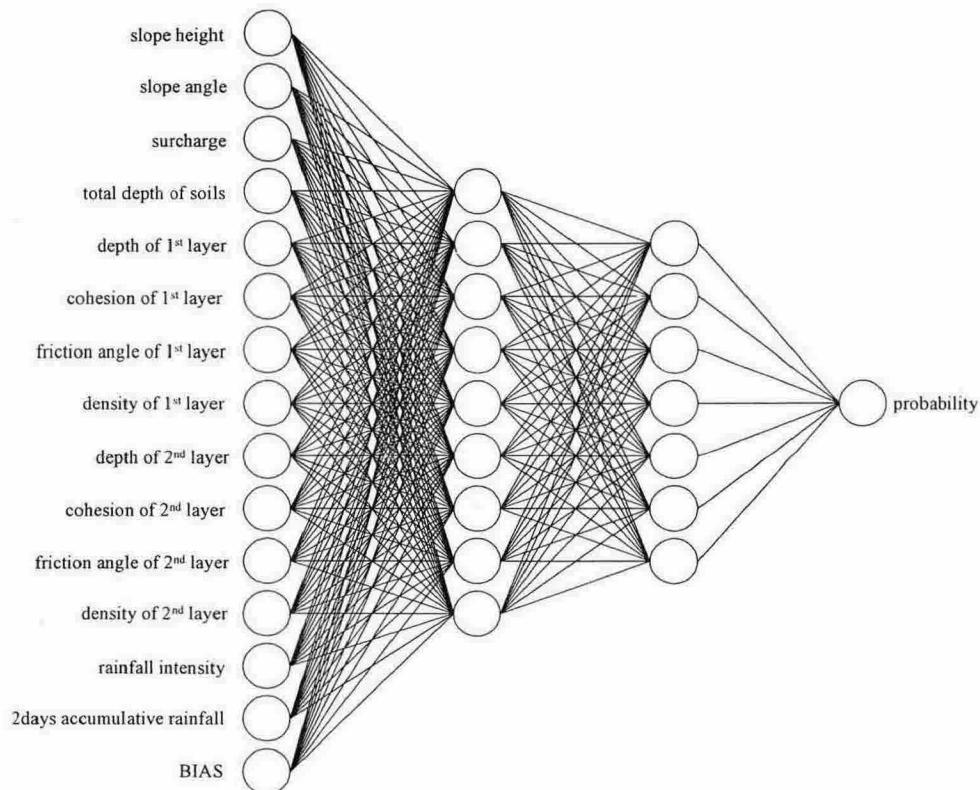


그림 1. 사면안정성평가를 위한 인공신경망 (은닉층이 2개인 경우).

### 3.2. 해석 프로그램

- 1) 앞에서 설명한 인공신경망 구조를 적용하여 사면안정성 평가가 가능한 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 Windows를 기반으로 제작된 프로그램이며, 멀티테스킹의 지원, 그래픽디바이스 인터페이스, 시각적인 환경 등을 갖추고 있다. 또한, 데이터의 입력 및 수정을 화면상 메뉴에서 제시하는 방식에 의거하여 쉽게 작성할 수 있으므로 데이터 입력시 에러를 최소화 할 수 있으며, 해석결과도 화면상에서 즉시 확인할 수 있다.
- 2) 그림 2는 전체적인 프로그램의 흐름도를 설명한 모식도이다. 본 프로그램에서는 사면안정성 평가인자들을 0에서 1사이로 정규화(Nominalize)하여 입력하였다. 그리고, 최적의 학습회수를 결정하기 위하여 은닉층수 1개, 노드수 10개의 구조를 대상으로 해석을 수행하였다. 이로부터 선정한 가장 효과적인 학습회수를 결정하였으며, 은닉층수를 1개인 경우와 2개인 경우로 수정이 가능하도록 하였다. 그리고 노드수를 2개부터 15개까지 변경하여 최적의 오차 값을 갖는 구조를 선택하도록 구성하였다. 학습에 있어서 선택된 데이터는 내부적으로 난수를 발생시켜서 선택되도록 프로그래밍을 하였다.

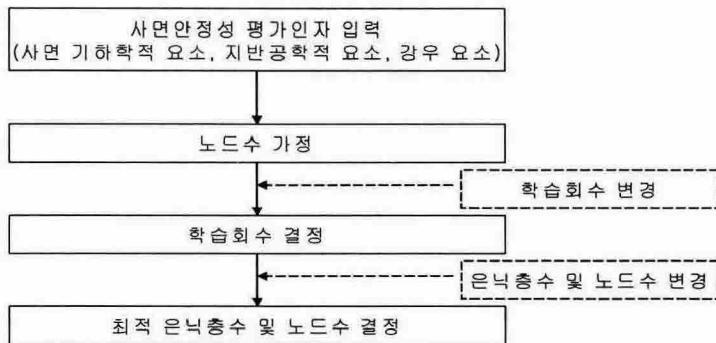


그림 2. 프로그램의 흐름도

#### 4. 최적의 은닉층수 및 학습 횟수 선정

##### 4.1. 은닉층수

은닉층수에 따른 사면안정성 평가의 정확성에 미치는 영향을 살펴보고, 최적의 은닉층수를 선정하기 위하여 개발된 인공신경망 모델을 이용하여 해석을 실시하였다. 이를 위하여 사면파괴가 발생된 5개 지역(st-1~st-5)과 발생되지 않은 5개 지역(un-1~un-5)을 선정하여 평가를 실시하였다. 그리고 은닉층수에 따른 정확성을 판단하기 위하여 안정적인 노드수를 선정하여 해석을 수행하였으며, 학습회수는 5000 일 경우를 대상으로 하였다.

그림 3은 은닉층수가 1개일 경우 노드수에 따른 오차를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 노드수가 15개인 경우 3.03%의 최저오차율이 발생되고, 노드수가 12개인 경우 23.11%의 최대 오차율이 발생되는 것으로 나타났다.

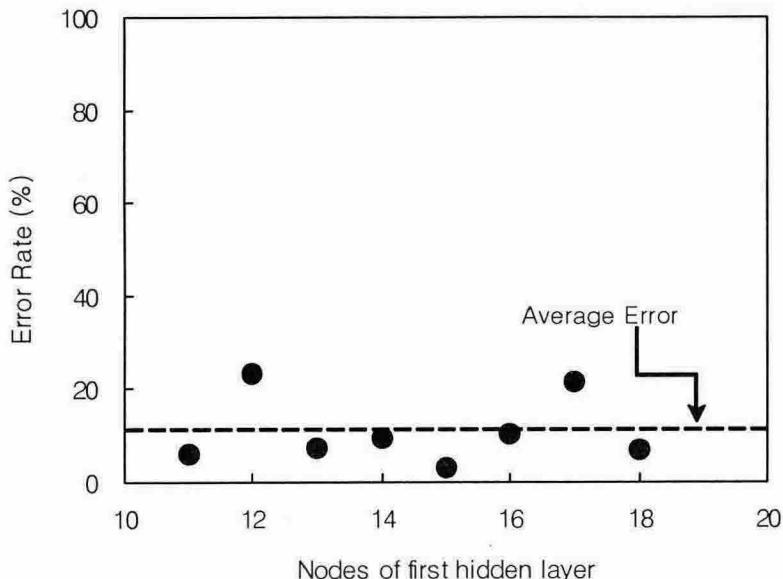


그림 3. 은닉층수가 1개인 경우 학습결과.

그림 4는 은닉층수가 2개인 경우 노드수에 따른 오차를 나타낸 것이다. 그림에서 범례에 표시된 숫자는 두 번째 은닉층의 노드수이고, 횡축은 첫 번째 은닉층의 노드수이다. 첫 번째 노드수가 12개이고 두 번째 노드수가 8개인 경우 0.47%의 최소오차율이 발생되고, 첫 번째 노드수가 14개이고 두 번째 노드수가 1개인 경우 19.48%의 최대오차율이 발생되는 것으로 나타났다.

위에서 보는 바와 같이 은닉층수가 2개인 경우가 은닉층수가 1개인 경우보다 오차율이 더 적은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발된 인공신경망 모델은 2개의 은닉층수를 갖는 것이 보다 정확함을 알 수 있다.

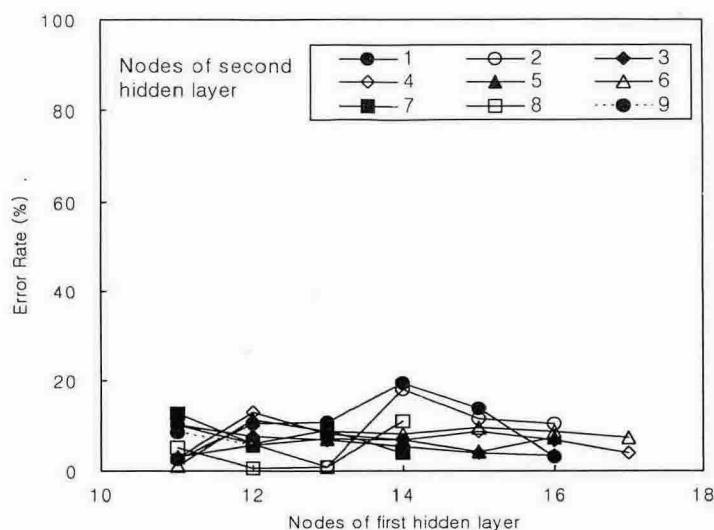


그림 4. 은닉층수가 2개인 경우 학습결과.

#### 4.2. 학습 횟수

학습회수에 따른 인공신경망 모델의 정확성을 알아보기 위하여 사면파괴가 발생한 5개 지역과 발생하지 않은 5개 지역을 선택하여 평가를 실시하였다. 학습회수에 따른 정확성을 판단하기 위하여 은닉층수가 1개인 경우와 2개인 경우에 대한 오차율을 검토하였으며, 학습회수는 3000에서 15000까지 범위를 대상으로 하였다. 은닉층수는 보다 안정적인 2개인 경우를 적용하였으며, 첫 번째 은닉층수의 노드수는 12개이고 두 번째 은닉층수의 노드수는 8개인 구조를 채택하였다.

그림 5는 첫 번째 은닉층의 노드수가 12개이며 두 번째 은닉층의 노드수가 8개인 경우 학습회수에 따른 오차율을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 학습회수가 3000~5000에서는 학습회수가 증가함에 따라 오차율은 급격하게 감소하지만, 학습회수가 5000~15000에서는 학습회수가 증가함에 따라 오차율은 미소하게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 학습회수가 5000일 경우 최소오차율을 나타내며, 이때 최소오차율은 0.47%이다.

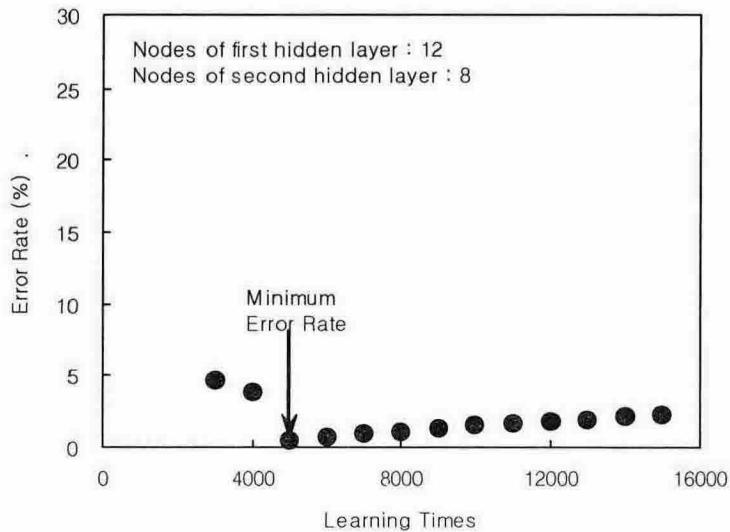


그림 5. 학습회수에 따른 오차율 (은닉층수가 2개인 경우).

## 5. 사면안정성 평가

그림 6은 은닉층수가 2개인 경우 최소오차율을 갖는 인공신경망에 의한 사면파괴 예측결과와 실제 사면파괴 발생결과를 비교하여 나타낸 것이다. 최소오차율을 갖는 인공신경망의 노드수는 첫 번째 은닉층의 경우 12개이고, 두 번째 은닉층의 경우 8개로 구성되어 있다. 그림의 점선은 사면파괴 발생유무를 구분하는 것으로서, 발생가능성이 50%이상일 경우 사면파괴가 발생하는 것으로 예측하게 된다. 그림에서 보는 바와 같이 사면파괴가 발생된 현장의 경우 사면파괴 발생확률은 96.9%~100.0%인 것으로 나타났으며, 사면파괴가 발생되지 않은 현장의 경우 사면파괴 발생확률은 0.0%~1.4%인 것으로 나타났다. 따라서 사면파괴 발생지역 및 미발생지역에 대한 인공신경망 예측결과는 매우 정확한 것으로 나타났다.

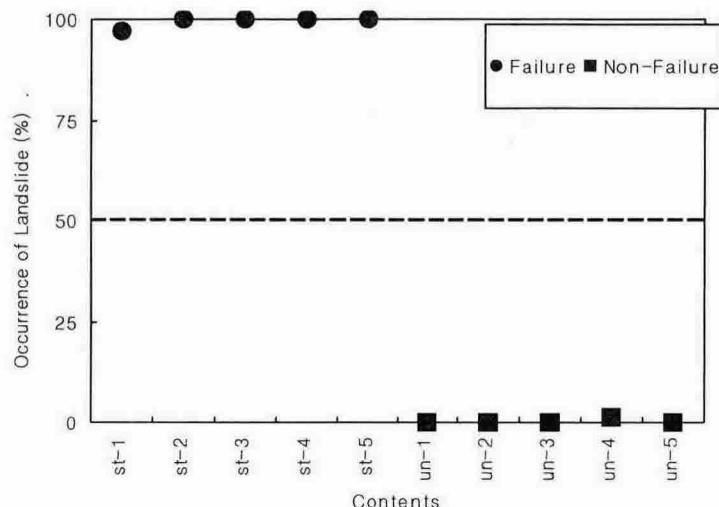


그림 6. 은닉층수가 2개인 경우 사면파괴 발생유무와 비교.

## 6. 결 론

본 연구에서는 절개사면의 안정성을 평가하기 위하여 인공신경망 모델을 적용하였으며, 이에 대한 해석이 가능하도록 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 정확한 해석을 수행할 수 있도록 은닉층수와 노드수를 조절할 수 있도록 하였다. 개발된 프로그램을 이용하여 절개사면의 사면붕괴 예측을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 절개사면의 안정성 평가를 위하여 인공신경망 모델에 적용될 평가인자는 사면의 기하학적 요소로서 사면경사각, 사면높이, 상재하중, 지반공학적 요소로서 전체토층깊이, 각 토층의 깊이, 점착력, 내부마찰각, 단위중량, 그리고 강우의 요소로서 최대시간강우강도와 2일 누적강우량으로 선정할 수 있다.
- 2) 인공신경망을 이용하여 사면붕괴 발생을 예측할 경우 은닉층수가 1개인 경우보다 2개인 경우가 오차율이 적으며, 은닉층수가 2개인 경우에는 학습회수가 5000일 경우 최소 오차율을 갖는다.
- 3) 개발된 인공신경망 모델을 적용하여 절개사면의 사면붕괴 발생가능성을 예측할 수 있으며, 이에 대한 예측결과도 매우 정확도가 높음을 알 수 있다.

## 참고문헌

- 건설교통부, 1994, 군장공단-호남고속도로 (1공구) 공사 실시설계 보고서.
- 경기도, 1997, 고색-의왕간 도로개설 공사 보고서.
- 고려대학교, 1994, 도시고속도로(포이-내곡동) 사면안정검토 최종보고서.
- 김상규, 1995, 사면의 설계에 관련되는 공학적 문제, 사면안정대책 조사 및 설계방법, 시공사례 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, 3-6.
- 단양군, 1995, 단양군 휴석동 산사태 방지 대책공사 실시설계 보고서.
- 대한토목학회, 1987, 정선병원 절토사면 안전진단연구 보고서.
- 대한토목학회, 1991, 대동아파트 신축부지 절개사면 안정성 검토 연구용역 보고서.
- 대한토목학회, 1993, 부산에덴 금호아파트 신축부지 절개사면 안정성 검토 연구보고서.
- 대한토목학회, 2001, 부천 범박동 흠타운 굴착 암반경사도에 대한 연구보고서.
- 대한토질공학회, 1990, 삼룡사 법당 및 회관신축부지 절토공사에 따른 배면지반 변형 영향 검토 연구 보고서.
- 박용원, 김감래, 여운광, 1993, “1991년 용인-안성지역 산사태 연구” 한국지반공학회지, 제9권 제4호, 103-116.
- 부산대학교, 1987, 장복로 수해복구를 위한 안전대책방안 수립보고서.
- 부산대학교, 1990, 진해시민회관 부지조성 사면안정 대책 연구 용역 보고서.
- 비엔지컨설팅트, 1997, 계명대학교 암반사면 안정성 검토 보고서.
- 삼성중공업, 1999, 거제조선소 사면안정성 평가 및 보수 보강 대책에 관한 연구 보고서.
- 서울시립대학교, 1993, 삼성중공업 창원 2공장 사면활동 원인, 안정검토 및 대책연구 보고서.
- 서울시립대학교, 2000, 서울 대모초등학교 절개지 사면안전 진단 보고서.
- 이영남, 1991, “지반공학과 자연재해(II); 산사태”, 대한토질공학회지, 제7권 제1호, 105-113.
- 전라북도, 1994, 용담댐 이설도로 개설공사 실시 설계보고서.

- 중앙대학교, 1995, 경부고속철도 제7-1공구 노반신설 기타공사구역내 지탄터널공사구간 대절토사  
면 안정성 확보에 관한 연구보고서.
- 중앙대학교, 1997, 부산 황령산 유원지내 운동시설 조성공사 현장 사면안정성 확보방안에 대한 연  
구 보고서.
- 중앙대학교, 2003, 부산 사하구 당리 청마아파트 사면안정 대책 검토 의견서.
- 한국건설기술연구원, 1989, 사면의 안전진단 및 보호공법 연구.
- 한국건설기술연구원, 1998, 합천군 쌍백면 우회도로 축조공사 안전점검 보고서.
- 한국도로공사, 1995, 대전-통영간 고속도로 건설공사 보고서.
- 한국도로공사, 1996, 공주-서천간 고속도로 건설공사 보고서.
- 한국지반공학회, 1994, 충무시 외곽진입로 절취사면 안정성 검토 보고서.
- 한국토지공사, 1999, 용인죽전지구 택지조성 보고서.
- 한남지질주식회사, 1989, 부산 장림동 현대아파트 부지 사면안정성에 대한 조사보고서.
- 홍원표, 김상규, 김마리아, 김윤원, 한중근, 1990, 강우로 기인되는 우리나라 사면활동의 예측, 한국  
토질공학회지, 제6권 제2호, 55-63.
- 홍원표, 김원영, 송영석, 임석규, 2004, 인공신경망모델을 이용한 산사태 예측, 한국지반공학회 논  
문집, 제20권, 제8호, 67-75.
- 홍원표, 임석규, 송영석, 2004, 신경망이론에 의거한 사면의 안정성 평가를 위한 인자추출, 2004년  
대한토목학회 학술발표회 논문집, 1347-1352.
- Kim, W. Y. and Chae, B. G., 1998, Landslide characteristics in Korea, Proc. on Korea-France  
Joint Seminar on Geotechnical and Environmental Survey for Civil Eng. and Groundwater  
Protection, Seoul. 5 p.
- Mayoraz, F., Cornu, T. Djukic, D. and Vulliet, L., 1997, Neural networks : A tool for  
prediction of slope movements, Proc. 14th ICSMFE, Hamburg, Vol. 1, 703-706.
- 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, 213-226.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and McClelland, J. L., 1986, A general framework for parallel  
distributed processing, Explorations in the microstructure of cognition, Vol. 1, MIT Press,  
Cambridge. Mass.
- Vulliet, L. and Mayoraz, F., 2000, Coupling neural networks and mechanical models dor a  
better landslide management, Proc. 8th Int. Symp. on Landslides, Cardiff, Vol. 3, 1521-1526.