

로지스틱회귀분석기법과 인공신경망기법을 이용한 제주지역 산사태가능성분석

The Landslide Probability Analysis using Logistic Regression Analysis and Artificial Neural Network Methods in Jeju

권혁춘* · 이병길** · 이창선*** · 고정우****

Quan, He Chun · Lee, Byung Gul · Lee, Chang Sun · Ko, Jung Woo

要 旨

본 연구에서는 제주지역의 산사태가능성을 분석하기 위하여 사람의 발길이 많은 사라봉, 별도봉 지역과 송악산 지역의 지형 및 토질공학적 사면 붕괴 유발 인자들을 이용하여 로지스틱회귀분석기법과 인공신경망기법을 GIS기법과 결합하여 예측지도를 작성하고 비교분석하였다. 산사태 예측지도를 작성하기 위해서 산사태 발생에 영향을 주는 사면경사, 고도, 건조밀도, 투수계수, 간극율을 선택하였으며 선정된 지역을 대상으로 실시한 야외조사와 토양 물성시험 결과를 정리한 후 이를 토대로 GIS기법을 적용하여 각 레이어별 주제도를 작성하였다. 생성된 주제도를 각각 로지스틱회귀분석기법과 인공신경망기법으로 작성하여 비교분석한 결과 사면경사와 간극율의 경중률이 가장 높게 나타났고, 예측지도는 로지스틱회귀분석기법이 더욱 정확한 결과를 나타내었으며, 도로변과 산책로를 중심으로 산사태 발생가능성이 높게 분포하고 있음을 알 수 있었다.

핵심어 : 로지스틱회귀분석기법, 인공신경망, 지형정보체계, 예측지도

Abstract

This paper presents the prediction and evaluation of landslide using LRA(logistic regression analysis) and ANN(Artificial Neural Network) methods. In order to assess the landslide, we selected Sarabong, Byeoldobong area and Mt. Song-ak in Jeju Island. Five factors which affect the landslide were selected as: slope angle, elevation, porosity, dry density, permeability. So as to predict and evaluate the landslide, firstly the weight value of each factor was analyzed by LRA(logistic regression analysis) and ANN(Artificial Neural Network) methods. Then we got two prediction maps using AcrView software through GIS(Geographic Information System) method. The comparative analysis reveals that the slope angle and porosity play important roles in landslide. Prediction map generated by LRA method is more accurate than ANN method in Jeju. From the prediction map, we found that the most dangerous area is distributed around the road and path.

Keywords : LRA, ANN, GIS, Prediction Map

1. 서 론

제주도는 주 분화구였던 한라산을 중심으로 경사가 급하고 섬 주변에는 많은 절벽단층들이 분포하고 있으며 태풍의 영향을 많이 받고 있어 도로의 확장과 개발로 인해 태풍을 동반한 집중호우로 피해가 급증하고 있

다. 특히, 2007년 태풍 “나리(Nari)”의 영향으로 제주도에서 집계한 피해액만 1천 3백억원으로 제주도 재해 사상 최고였으며 인명피해로는 13명의 사망자가 발생하였다. 이 중 산사태로 인한 피해는 미비하였으나 최근 오름트래킹, 올래길 탐방으로 인해 오름을 찾는 관광객이 많아짐에 따라 산사태로 인한 피해를 무시할 수

2011년 6월 28일 접수, 2011년 7월 25일 채택

* 정희원 · 중국 연변대학교 토목공학과 교수 · 공학박사(qhchun@hanmail.net)

** 교신저자 · 정희원 · 제주대학교 해양과학대학 토목공학과 교수 · 공학박사(leebgprof@empal.com)

*** 제주대학교 대학원 토목해양공학과 공학석사(samezzang@nate.com)

**** 제주대학교 대학원 통역특성화협동과정 박사과정(tuba1215@hanmail.net)

없게 되었다(이창선, 2010). 따라서 산사태로 인한 인명 및 재산피해를 미리 예방하고 줄이기 위하여 산사태의 과학적인 분석기술 개발이 필요한 실정이다.

현재 산사태 예측을 위하여 여러 가지 기법을 이용한 연구가 국내외에서 많이 진행되고 있다. 채병곤 외(2004)는 자연사면에서 발생하는 토석류(debris flow) 산사태의 확률론적 예측을 위해 로지스틱 회귀분석(logistic regression analysis)을 이용하여 변형암 및 화강암 분포지에 적용할 수 있는 예측모델을 개발하였다. 김경수 외(2004)는 도시지역 사면관리 시스템과 연계하여 부산 백양산지역을 대상으로 한 급경사지재해 예측도 작성에 로지스틱회귀분석을 적용한 바 있다. 홍원표 외(2004)는 자연사면의 산사태 발생여부를 조사하기 위하여 오류역전파를 이용한 인공신경망모델을 제안하였고 사면의 안정성평가를 진행하였다.

E. Yesilnacar와 T. Topal(2005)는 산사태가 많이 발생하고 있는 터키지역에 대하여 로지스틱 분석과 인공신경망 두가지 방법을 비교분석하는 방법으로 연구대상지에 대한 산사태 취약성도를 작성하였다. Kawabata와 Bandibas(2009)는 효율적이고 정확한 산사태취약성 지도를 작성하기위하여 고해상도 영상을 이용하여 지형인자들을 획득하고 GIS를 이용하여 지형지질인자들을 통합 분석하였으며 최종으로 인공신경망 기법으로 정확도가 매우 높은 취약성지도를 작성하였다. Pradhan과 Lee(2010)는 산사태에 영향을 주는 요소의 개수를 각각 11개, 7개와 4개로 변화시키며 인공신경망기법으로 산사태 취약성분석을 진행하고 로지스틱회귀분석기법과 비교분석하였다.

하지만 위 연구들에서는 주로 넓은 지역에 대하여 지형지질데이터만 사용하여 산사태취약성지도를 작성하거나 혹은 토질물성데이터를 사용하여 산사태를 분석함에 있어서 인공신경망기법과 로지스틱회귀분석 등 여러 가지 기법들의 적용가능성과 정확성분석등을 진행하였다. 이는 주로 넓은 지역에 대한 토질물성데이터의 획득이 어렵기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 제주도에서 사람의 발길이 많은 사라봉, 별도봉 지역과 송악산 지역의 지형지질 및 토질물성데이터들을 이용하여 각각 주제도를 작성한 다음 로지스틱회귀분석기법과 인공신경망기법을 각각 GIS기법과 결합하여 예측지도를 작성하고 비교분석하여 국부지역에서의 산사태가능성을 예측 및 평가해 보고자 하였다.

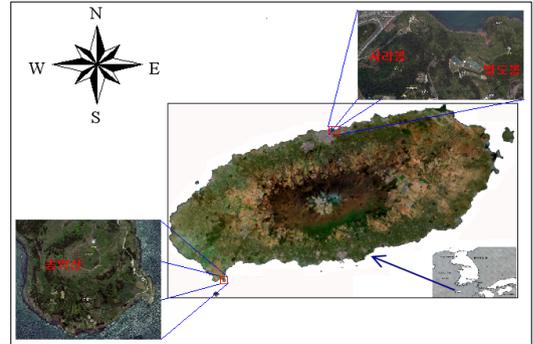


그림 1. 연구대상지역

2. 연구대상지역

본 연구에서는 토질물성데이터를 획득하기위하여 그림 1과 같이 관광지로 유명한 송악산지역과 오름에 체육시설을 갖추고 있는 사라봉, 별도봉 지역을 대상으로 현장조사 및 시료를 채취하여 실내시험을 실시하였다.

2.1 송악산지역

연구지역으로 선정된 송악산 지역(북위 33°15'40", 동경 126°17'35")은 주변의 산방산 지역과 함께 제주도의 대표적인 관광지이다. 절벽 하단부는 파도와 바람, 화학적 풍화로 인해 많은 침식을 받아서 상부의 단단한 암층이 하부지층이 유실된 상태로 존재하고 있다.

2.2 사라봉, 별도봉 지역

사라봉 지역(북위33°31'04.2", 동경 126°32'41.5")은 제주항 동쪽 해변에 위치한다. 사라봉지역의 지질구조는 대부분 제주시 화산암류이고 부분적으로 비석거리 하와이 아이트가 분포한다. 그리고 전체적으로 땅콩모양으로 건입동소재 산지등대와 사라봉 동북쪽 산책길 중간에 분석구가 노출되어 있다.

별도봉지역(북위 33°31'09.2", 동경 126°33'11.4")은 서쪽의 사라봉과 마주보고 있어 같은 능선으로 연결되어 있다. 표고는 136m로 사라봉보다 12m 정도 낮고 정수장이 위치한다. 별도봉은 대부분 별도봉 응회암이고 부분적으로 비석거리하와이아이트가 분포한다. 대부분 북측 해안에 분포하며 해안에서 500m까지 연장되며 퇴적한 화산층이다.

3. 산사태 발생구간에 따른 토질특성 분석

대상지역 토질의 물리적 특성을 파악하고 산사태 예

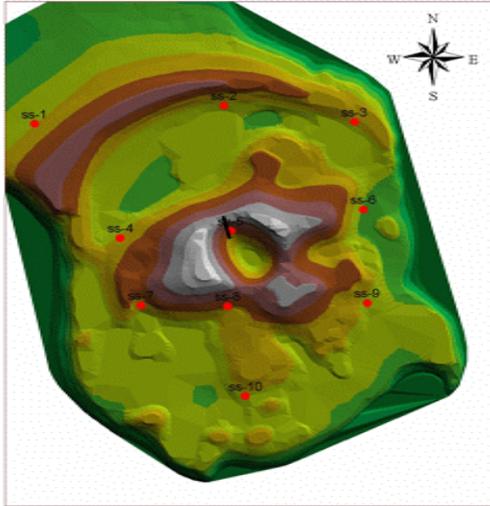


그림 2. 토층시료채취지역(송악산)

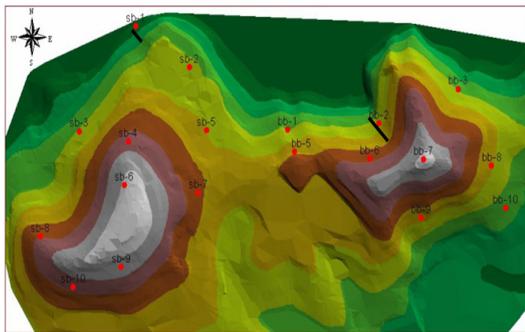


그림 3. 토층시료채취지역(사라봉, 별도봉)

측을 위한 입력자료로 활용하기 위하여 그림 2와 그림 3과 같이 송악산지역과 사라봉, 별도봉 지역에서 각각 10개소에서 토층시료를 채취하였다.

본 연구에서는 산사태 가능성 분석을 위하여 산사태에 영향을 주는 요소를 홍원표 등(2004)이 제시한 지형지질 및 토질물성데이터 중 제주도의 지질특성 등을 고려하여 수치표고모델, 사면경사, 건조밀도, 간극율, 투수계수 5개의 인자를 사용하였다. 토질물성데이터와 산사태의 상관성을 검토하기 위하여 토질시험 결과를 산사태 발생한 지점과 발생하지 않은 지점으로 구분해서 그래프를 작성하였다.

그림 4는 간극율의 특성을 나타낸 결과이다. 산사태 발생지역은 평균 65%의 값을 보이고 사라봉, 별도봉 지역은 평균 63%, 송악산 지역은 55% 정도의 간극율 값을 갖는 것으로 나타났다. 재해발생지역과 미발생지역간에 두드러진 차이를 보이지는 않지만 재해발생지

역의 간극율이 높은 분포값을 갖음을 알 수 있다. 이것은 토층이 느슨하고 조밀함을 기밀할 수 있는 밀도조건과도 밀접한 상관성을 갖는다. 또한 투수계수에도 큰 영향을 끼친다.

그림 5와 같이 건조밀도의 경우 재해발생지역은 평균 0.86g/cm³, 사라봉, 별도봉지역은 1.0g/cm³, 송악산은 1.12g/cm³의 결과를 보인다. 이러한 결과를 보면 재해발생지역은 간극율이 크고 건조밀도가 작은 느슨한 지역에 발생하게 되는데 집중강우와 누적강우가 토층을 포

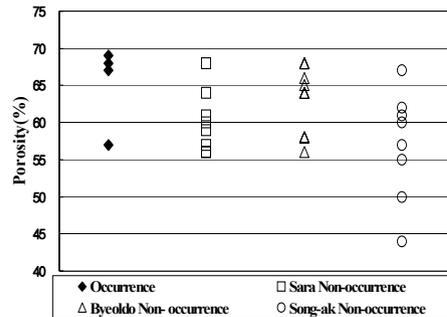


그림 4. 간극율비교

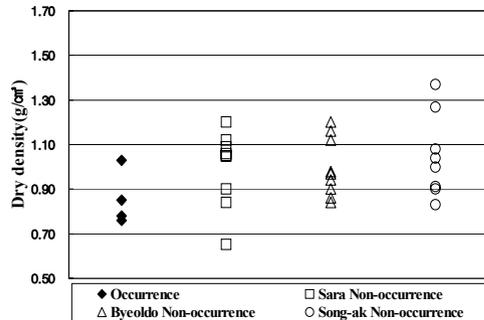


그림 5. 건조밀도비교

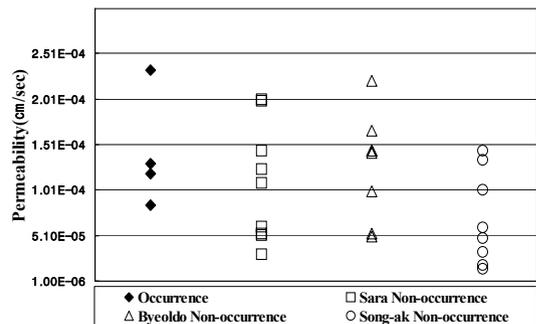


그림 6. 투수계수비교

화시커 증력의 영향이 크게 작용하여 발생하는 것으로 사료된다.

그림 6과 같이 산사태발생지역과 미발생지역의 투수계수를 비교하면 재해발생지역은 평균 $1.42 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$, 사라봉, 별도봉 지역은 $1.18 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$, 송악산 지역은 $6.18 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 결과를 나타냈다.

4. 산사태 예측 및 평가

4.1 로지스틱 회귀분석을 이용한 산사태 예측 및 평가

정량적 급경사지재해 발생가능성을 구하기 위해 통계학에서 최근 많이 사용하는 로지스틱 회귀분석기법이 이용되고 있다. 회귀분석은 급경사지재해와 관련이 있는 여러 요인들을 이용하여 향후 발생 가능한 급경사지재해를 예측하려는 시도에 적용이 가능한 통계적 분석방법이다. 예측하려는 변수 즉, 급경사지재해의 발생가능성을 ‘중속변수’라 하고, 급경사지재해를 예측하기 위해 사용하는 다른 요인을 ‘독립변수’라 한다. 로지스틱 회귀분석은 단지 두 개의 값(급경사지재해발생 또는 미발생)만을 가지는 중속변수와 다양한 값을 갖는 독립변수들 사이의 관련성을 분석하는 통계기법이다. 또한, 로지스틱 회귀분석은 급경사지재해가 발생할 경우와 발생하지 않을 경우를 예측하기 보다는 그 지역에 급경사지재해가 발생할 확률을 계산해 준다는 점에서 급경사지재해 분석에 있어 이상적인 통계분석방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 산사태 예측지도를 작성하기 위해서 선정된 지역을 대상으로 실시한 야외조사와 토양물성 시험 결과를 정리한 후 이를 토대로 GIS기법을 이용하여 각 레이어별 주제도를 작성하였다. 토질인자 및 지형학적 인자들의 주제도는 보간법을 이용하여 작성하게 된다. 이 때 작성된 주제도는 5m×5m 크기로 격자

(cell)분할을 실시하였다. 격자의 크기를 5m로 설정한 이유는 발생한 산사태의 규모를 고려하여 결정하였다. 산사태 예측모델을 토대로 각 레이어 도면에서 그 속성값을 연산하면 logit 값으로 구성된 새로운 주제도를 얻게 된다. 이 logit 값으로 구성된 주제도에 모델에서 제시하는 식을 적용하면 산사태 발생가능성을 확률로 표현한 예측지도를 작성할 수 있다. 이러한 방법으로 작성한 산사태 예측지도의 신뢰성은 내륙지방의 데이터와 비교하여 90% 이상의 신뢰도를 보였다.

그림 7과 그림 8은 각각 송악산 지역과 사라봉 지역의 고도(a), 사면경사(b), 건조밀도(c), 투수계수(d), 간극율(e)의 주제도를 작성한 것이다. 각 주제도는 연속되는 색으로 표시되어 있고 색이 짙은 곳일수록 높은 데이터를 갖고 있는 지역이다.

예측모델은 로지스틱회귀분석으로 각 요소들의 계수를 확정하였으며 식은 아래와 같다.

$$\ln(P_z(1 - P_z)) = 0.147X_1 + 0.323X_2 + 0.155X_3 + 0.225X_4 + 0.149X_5$$

위 식에서 좌측은 산사태 발생확율을 나타내고 우측에서 $X_1 \sim X_5$ 는 각각 수치표고모델, 사면경사, 건조밀도, 투수계수와 간극율의 속성값을 나타낸다.

이러한 주제도를 이용하여 위의 예측모델 식에 근거하여 예측지도를 작성한 결과는 그림 9와 그림 10과 같다.

위 예측지도 결과를 보면 산사태가 발생한 지역에서 높은 확률분포를 나타내고 있다. 이 결과를 토대로 예측지도를 보면 그림 11과 같이 90% 이상 발생가능성을 보이는 지역은 총 면적의 3.3%를 보이고 70~90%의 확률을 보이는 지역은 5.2%, 50~70%의 확률을 보이는 지역은 5.0%를 보인다. 비교적 발생지역이 미비한 결과를 보이지만 발생가능성이 높은 지역은 봉우리의 사면을 따라 분포하면서 진입로, 등산로 및 목장의

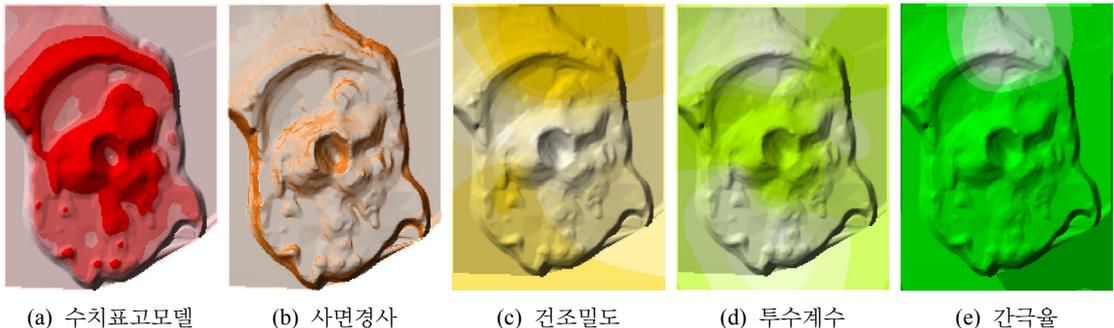


그림 7. 송악산지역의 각 주제도

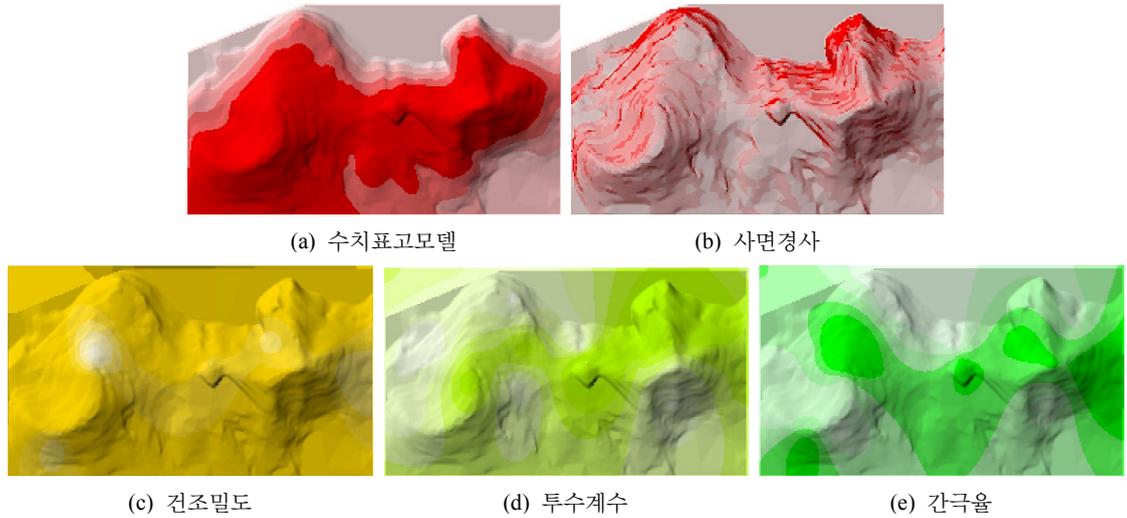


그림 8. 사라봉과 별도봉지역의 각 주제도

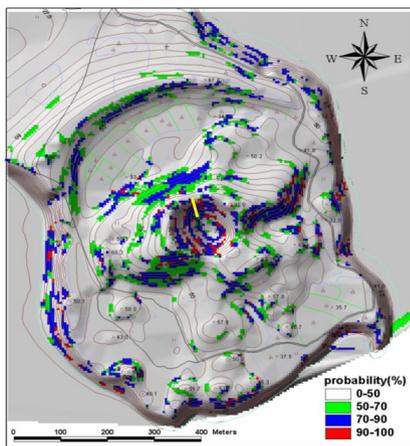


그림 9. 송악산지역의 예측지도

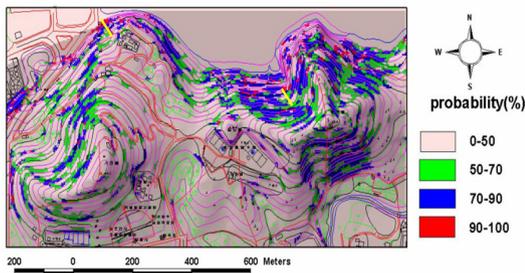


그림 10. 사라봉과 별도봉지역의 예측지도

주변에서 나타나고 있어 인명 및 재산피해가 우려된다. 그러므로 현재 발생하지는 않았지만 가능성이 높은 지역은 경각심을 갖고 산사태를 예방해야 할 것으로 사료된다.

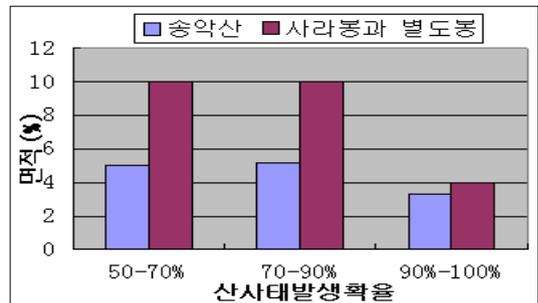


그림 11. 산사태발생확률에 따른 면적분포

사라봉, 별도봉 지역의 산사태발생지역과 예측지도를 비교해 보면 높은 확률분포를 나타내는 지역에서 산사태가 발생하였다. 이 결과를 토대로 재해 예측지도를 살펴보면 그림 11과 같이 90%이상의 확률을 보이는 지역은 총 면적의 4%, 70~90%의 확률을 보이는 지역은 10%, 50~70%의 확률을 보이는 지역은 10%을 나타내었다. 사라봉과 별도봉 지역은 임향도로변과 산책로를 중심으로 재해 발생가능성이 높게 분포하고 있다. 사라봉, 별도봉 지역은 공원이화가 잘 되어 있어 사람들이 체육활동을 하러 많이 찾는 곳이므로 재해를 예방하기 위해 관심을 가져야 할 것으로 사료된다.

4.2 인공신경망기법을 이용한 산사태 예측 및 평가

신경망은 인간의 사고처리과정을 모의하는데, 인간의 두뇌는 상호 연결된 뉴런을 사용하여 입력되는 정보를 처리한다(Jensen et al., 1999; Hengl, 2002). 뉴런(신경단위)은 인간 두뇌속의 세포로서 그 주요 기능이

전기적 신호를 수집하고 처리하며 다시 내보내는 것이다(Russell and Norvig, 2003). 신경망은 단계별 알고리즘이나 복잡한 논리적 프로그램을 통해 해결책에 도달하는 것이 아니라, 비알고리즘적이고 비구조적인 형태로 망 속의 뉴런들을 연결하는 가중치를 조정함으로써 해결책에 도달한다(Rao and Rao, 1993). 신경망의 중요한 두가지 장점은 자료가 정규분포를 이루어야 한다는 필요조건이 없어졌고 적절한 지형적인 구조에 대한 복잡하고 비선형적인 패턴을 잘 적응하여 모의할 수 있는 것이다(Atkinson and Tatnall, 1997; Jensen et al., 1999).

본 연구에서는 고도, 사면경사, 건조밀도, 투수계수, 간극율을 입력층의 요소로 설정하고, 출력층은 2개로 하고 은닉층은 각각 5, 10, 15, 20개로, 학습율과 모멘텀은 각각 표 1과 같이 설정하여 오차를 비교해 보았다. 그 결과 그림 12와 같이 은닉층이 20개, 학습율과 모멘텀이 각각 0.1과 0.1일때 오차가 가장 낮은 값을 보였다. 그리하여 본 연구에서는 은닉층 20개, 학습율과 모멘텀이 각각 0.1과 0.1값을 이용하여 고도, 사면경사, 건조밀도, 투수계수, 간극율의 경중률 값을 계산하였다. 그 결과 그림 13과 같이 경중률 값은 사면경사가 가장 크고 간극율이 다음으로 크며 고도, 건조밀도, 투



그림 13. 각 입력층의 경중률 값

수계수는 경중률 값이 가장 작았으며 세 값 사이에서는 큰 차이를 나타내지 않았다.

인공신경망으로 계산된 경중률 값을 이용하여 산사태 예측지도를 작성하기 위하여 GIS중첩기법을 사용하였으며 중첩의 개념을 살펴보면 우선 중첩에 의한 결과로 나타나는 속성 값의 변화는 중첩에 사용된 다수의 레이어에서 동일한 위치에 해당하는 하나의 점이나 폴리곤, 혹은 주변 지역의 속성 값의 영향을 받아 일어난다. 즉, 아래 식에 나타난 것과 같이 중첩에 의하여 생성되는 새로운 속성 값은 중첩에 사용된 여러 레이어에 해당되는 속성값이 함수로 정의될 수 있는 기능에 의하여 변환되어 생성된 것이다. 이때 적용 가능한 기능은 더하기나 빼기 등과 같은 단순 연산에서 경중률을 이용한 보다 복잡한 연산이나 패턴에 의한 수식의 적용이 가능하다.

$$U = f(A, B, C, \dots)$$

U : 중첩에 의하여 생성된 속성값

f : 중첩에 적용된 변환기능

A, B, C, \dots : 중첩에 사용된 레이어 속성값

이러한 중첩과정은 격자구조에서는 단위 구조인 각각의 격자를 대상으로 이루어지며, 벡터 구조에서는 기본 구조인 점을 바탕으로 점, 선, 면을 대상으로 적용이 가능하다(김계현, 2000).

본 연구에서는 GIS프로그램인 ArcView를 이용하여 중첩에 사용된 레이어의 속성 값(A, B, C, \dots)으로는 위에서 제시된 고도, 사면경사, 건조밀도, 투수계수, 간극율 값으로 하고 중첩에 적용된 변환기능(f)으로는 Weighted Overlay사칙연산을 이용하였으며 중첩에 의하여 생성된 속성 값(U)으로는 그림 14와 그림 15와 같이 연구대상지에 대한 산사태 예측지도가 작성되었다.

표 1. 학습율과 모멘텀

Factor \ No	1	2	3	4	5	6	7	8
Learning rate	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1
Momentum	0.1	0.3	0.5	0.7	0.1	0.3	0.5	0.7
Factor \ No	9	10	11	12	13	14	15	16
Learning rate	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
Momentum	0.1	0.3	0.5	0.7	0.1	0.3	0.5	0.7

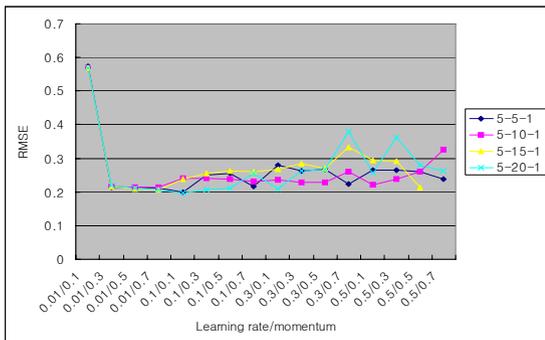


그림 12. 은닉층 개수에 따른 오차값 비교

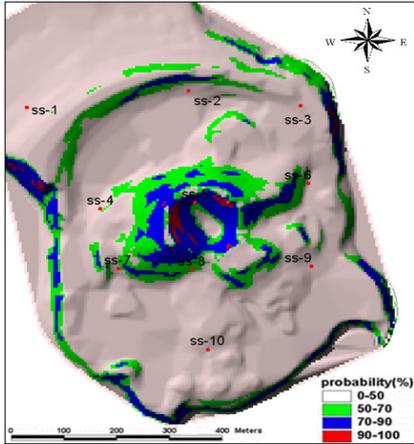


그림 14. 송악산지역의 예측지도

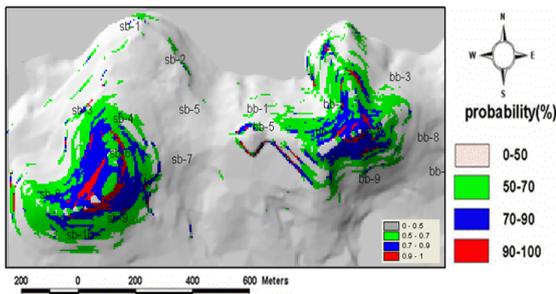


그림 15. 사라봉과 별도봉지역의 예측지도

그림 14와 그림 15와 같이 이 기법으로 작성한 송악산, 사라봉, 별도봉지역의 예측지도 결과를 보면 송악산지역에서는 재해발생가능성이 높은 지역이 봉우리의 사면을 따라 분포하며 사라봉과 별도봉지역에서는 주로 옴루 정상상을 중심으로 분포하고 있는 것을 알 수 있었다.

로지스틱회귀분석과 인공지능망기법으로 작성된 예측지도의 정확도를 비교하기 위하여 재해발생지역과 미 발생지역에서 임의로 각각 6개 곳을 선정하여 비교해 본 결과 로지스틱회귀분석기법으로 작성된 예측지도는 9개의 곳을 정확히 검출하였고 인공지능망기법으로 작성된 예측지도는 6개의 곳을 정확히 검출하여 로지스틱회귀분석기법이 더욱 정확한 것을 알 수 있었다.

5. 결론

지형지질 및 토질물성데이터를 이용하고 제주도 국부지역에 대한 산사태가능성을 분석하기 위하여 로지스틱 회귀분석과 인공지능망기법을 GIS기법과 결합하

여 예측지도를 각각 작성하고 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 국부지역에 대하여 로지스틱 회귀분석과 인공지능망 두 기법으로 예측지도를 작성하여 산사태가능성에 측 및 평가가 가능하였고 정확도를 비교해 본 결과 로지스틱회귀분석기법이 더욱 정확히 재해발생지역을 예측한 것을 알 수 있었다.

2. 정확도가 높은 로지스틱 회귀분석기법으로 작성한 예측지도를 분석한 결과 송악산 지역에서는 재해발생가능성이 높은 지역은 봉우리의 사면을 따라 분포하면서 진입로, 등산로 및 목장의 주변에서 나타났고 사라봉, 별도봉 지역은 임향도로변과 산책로를 중심으로 재해 발생가능성이 높게 분포하고 있다.

3. 인공지능망기법으로 재해발생에 영향을 주는 고도, 사면경사, 건조밀도, 투수계수, 간극율의 경중률을 계산해 본 결과 사면경사와 간극율이 재해발생에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김경수, 이문세, 조용찬, 채병근, 이춘오, 2004, "지질에 따른 토층사면의 토질공학적 특성 - 부산 황령산 지역", *지질공학학회논문집*, Vol.14, No.4, Dec., pp.487-498.
2. 김계현, 2000, *GIS 개론*, 대영사, pp.206-225.
3. 이창선, 2010, 통계분석기법을 활용한 제주지역 급경사 지재해 예측 및 평가, 석사학위논문, 제주대학교, pp.1-10.
4. 채병근, 김원영, 조용찬, 김경수, 이춘오, 최영섭, 2004, "토석류 산사태 예측을 위한 로지스틱 회귀모형 개발", *지질공학학회논문집*, Vol.14, No.2, June, pp.211-222.
5. 홍원표, 김원영, 송영석, 임석규, 2004, "인공지능망모형을 이용한 산사태 예측", *한국지반공학회 논문집*, 제 20권, 제8호, pp.67-75.
6. Atkinson, P.M., Tatnall, A. R. L., 1997, "Neural Networks in Remote Sensing", *International Journal of Remote Sensing*, 18(4): pp.699-709.
7. Hengl, T., 2002, "Neural Network Fundamentals : A Neural computing Primer", *Personal Computing Artificial Intelligence*, 16(3), pp.32-43.
8. Jensen, J. R., Qiu, F., M. Ji, 1999, "Predictive Modeling of coniferous Forest Age Using Statistical and Artificial Neural network Approaches Applied to Remote Sensing Data," *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 14, pp. 2805-2822.
9. Kawabata, D., Bandibas, J., 2009, "Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM

- from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN)", *Geomorphology*, 113, pp.97-109.
10. Pradhan, B., Lee, S., 2010, "Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling", *Environmental Modelling & Software*, 25, pp.747-759.
 11. Rao, V. B., H. V. Rao, 1993, *C++ Neural Network and Fuzzy Logic*, New York: Management Information, p.408.
 12. Russell, S. J., Norvig, P., 2003, *Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2nd ed.*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, p.1080.
 13. Yesilnacar, E. and Topal, T., 2005, "Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region(Turkey)", *Engineering Geology*, 79, pp.251-266.