

산사태와 지형공간정보의 연관성 분석을 통한 장흥지역 산사태 취약성 분석

이사로^{1*} · 지광훈¹ · 박노욱¹ · 신진수²

¹한국지질자원연구원 국가지질자원정보센터, ²중앙향업 지리정보연구소/시스템개발팀

Landslide Susceptibility Analysis in Janghung Using Spatial Relationships between Landslide and Geospatial Information

Saro Lee^{1*}, Kwang-Hoon Chi¹, No-Wook Park¹ and Jin-Soo Shin²

¹National Geoscience Information Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

²Chung-Ang Aerosurvey Co., Seoul 110-100, Korea

The purpose of this study is to analyze the landslide susceptibility, containing the process, which reveals spatial relationships between landslides and geospatial data sets, which occurred in Janghung area in 1998. Landslide locations were detected from remotely sensed image and field survey and topography, soil, forest, and land use data sets were constructed as a spatial database in GIS. As the landslide occurrence factors, slope, aspect, curvature and type of topography, texture, material, drainage and effective thickness of soil, type, age, diameter and density of wood and land use were used. To extract the relationship between landslides and geospatial database, likelihood ratio was calculated and compared with the result of Yongin area. Also, the landslide susceptibility index was calculated by summation of the likelihood ratio and the landslide susceptibility map was generated using the index. As a result, it is expected that spatial relationships between landslides and geospatial database is helpful to explain the characteristics of landslide and the landslide susceptibility map is used to reduce associated hazards, and to plan land use and construction.

Key words : landslide, susceptibility, geospatial information, GIS, Janghung

본 연구는 1998년 경기도 장흥지역에서 발생한 산사태의 취약성 분석을 목표로 산사태와 공간정보사이의 연관성을 정량적으로 밝히는데 목적이 있다. 산사태 발생위치는 원격탐사 영상과 야외 조사를 통해 작성하였으며, GIS 기반의 공간 데이터베이스로 지형, 토양, 임상 및 토지이용자료를 구축하였다. 지형자료로는 경사, 방위, 곡률을, 토양자료로는 토질, 토양 배수, 토양 모재, 유효 토심을, 임상자료로는 임상, 영급, 경급 및 밀도를 이용하였다. 산사태 발생과 공간정보사이의 관계는 우도비를 이용하여 정량적으로 추출하였으며, 경기도 용인지역에서 발생한 산사태의 분석결과와 비교를 하였다. 그리고 계산된 우도비를 이용하여 연구지역 전체에 대한 산사태 취약성 지수도를 작성하였다. 연구결과, 산사태 발생과 밀접한 관련이 있는 공간정보를 추출할 수 있었으며, 이러한 분석결과는 산사태 피해 예방을 위한 방재사업, 국토개발 계획 등의 기초자료로 이용될 수 있을 것이다.

주요어 : 산사태, 취약성, 지형공간정보, 지리정보시스템, 장흥

1. 서 론

산사태는 여러 원인에 의해 발생할 수 있는데, 우리나라의 경우 여름에 집중호우로 인한 산사태가 주로 발생하며 이로 인한 피해 또한 많이 발생되고 있다.

그러나 산사태에 대한 대책은 발생 이후의 피해 복구에 치중되어 있고, 또한 피해 복구를 위해 피해 지역의 위치, 규모와 같은 정보를 얻기까지는 많은 시간, 인력, 비용이 필요한 실정이다. 이러한 상황에서 산사태의 과학적인 분석은 그 필요성이 크며, 각종 분석기술들이 연구되고 있다(Chung and Fabbri, 1999; 이사로, 2000; 이사로와 민경덕, 2000; 신진수, 2001). 이

*Corresponding author: leesaro@kigam.re.kr

러한 연구와 관련하여 많은 관련 정보의 효율적인 분석이 가능한 GIS와 산사태 발생지역의 탐지 및 정보 추출에 유용한 원격탐사는 그 적용가능성이 큰 분야이다. 특히 원격탐사는 과거와 현재의 지구환경에 대한 자료 및 정보를 주기적으로 용이하게 입수할 수 있으며 경제성 및 정확도가 입증되어 응용범위가 확산되고 있으며, GIS 자료와의 결합에 의한 분석이 가능한 장점이 있다. 따라서 산사태 발생지역의 정확한 정보 획득이 가능하며, 시간, 인력, 비용의 절감효과를 가져올 수 있을 것이다.

산사태 취약성 분석을 위해서는 우선적으로 산사태 발생과 관련된 여러 요인을 분석하여야 하며, 이를 바탕으로 산사태 발생과 관련된 각종 지형공간정보를 구축해야 한다. 그리고 각종 지형공간정보를 이용하여 정량적으로 산사태 취약성 분석을 수행하기 위한 공간통

합(spatial integration)이 수행되어야 한다. 특히 산사태와 각종 지형공간정보 사이의 연관성은 공간통합 방법에 따른 정도의 차이는 있지만, 공간통합 결과에 크게 영향을 미치며 결과에 대한 검증은 위해서도 필수적인 정보에 해당된다. 또한 전국적인 산사태 취약성 분석을 위해서도 각종 사례 연구를 통해 산사태와 지형정보공간의 연관성 분석결과와 축적은 꼭 필요하다. 따라서 본 연구에서는 산사태와 각종 지형공간정보와의 연관성 분석 및 이를 통해 산사태 취약성을 분석하였다. 연구대상지역은 1998년 여름 집중호우에 의해 많은 산사태가 발생한 경기도 장흥 일대로 하였다. 본 연구의 순서는 Fig. 1과 같이 우선적으로 산사태 발생 위치를 위성영상과 현지 조사를 통해 추출하였으며, 산사태 발생과 관련이 있는 각종 지형공간정보를 GIS 환경에서 데이터베이스로 구축을 하였다. 그리고 산사태

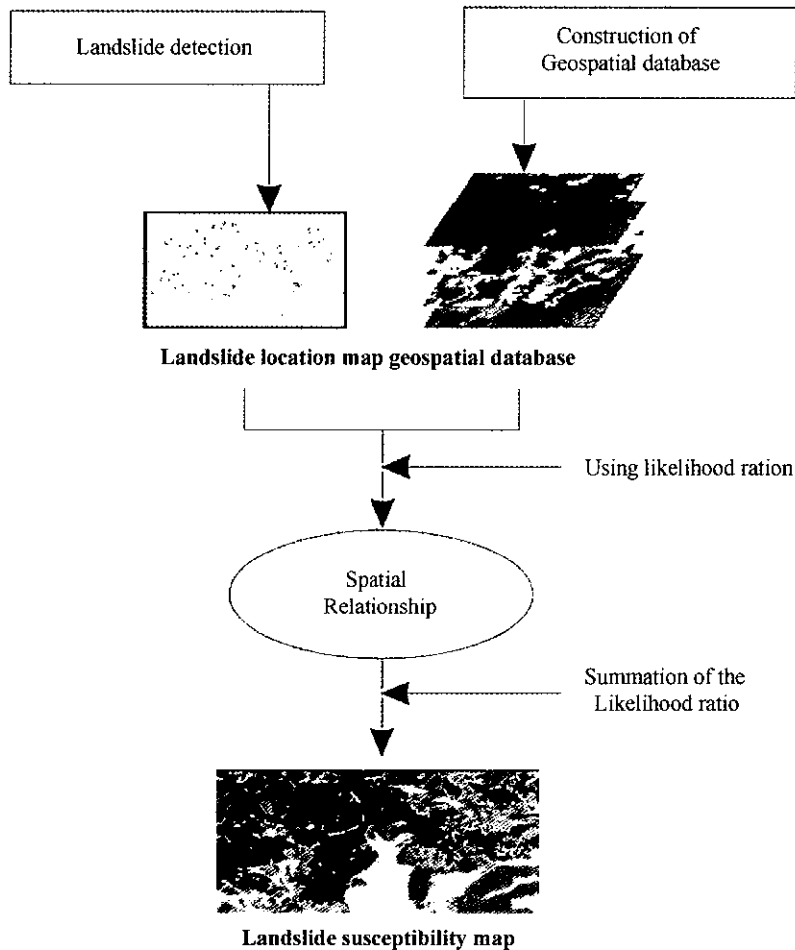


Fig. 1. Flow chart of the study.

발생위치와 각종 지형공간정보 사이의 관계를 우도비(LR: Likelihood Ratio)를 이용하여 정량적으로 추출하였고, 추출된 정보를 바탕으로 산사태와 각종 지형공간정보 사이의 관계를 해석하였다. 다른 지역에서의 적용 가능성을 검토하기 위하여 1991년 용인에서 발생한 산사태를 분석한 연구(이사로와 민경덕, 2000)와 비교 분석을 수행하였다. 그리고 마지막으로 이러한 우도비를 모두 더하여 산사태 취약성을 분석하였으며 그 결과를 도면으로 작성하였다.

2. 지형공간정보 구축

연구지역인 장흥지역은 행정구역상 경기도 양주군 백석면 남부와 장흥면 북부, 의정부시 서부와 주내면 일부를 포함하는 지역이며, 지리적 좌표상으로는 동경 126°×56'-127°×01', 북위 37°×43'-37°×46' 위치한다. 이 지역에서는 1998년 8월초 경기도 북부에 내린 집중호우에 의해 많은 산사태가 발생하였다. 산사태로 인하여 많은 실종자와 사망자가 발생하는 인명피해를 입었으며, 재산피해도 컸다(조선일보 1998년 8월 6일, 7일자 기사). 이러한 연구지역에 대해 우선 산사태 발생 위치 파악을 수행하였다. 이를 위하여 산사태 발생 이후 공간해상도가 좋은 IRS-1C와 KOMPSAT EOC 영상을 이용하여 산사태 위치를 일차적으로 탐지하였다. 그리고 위성영상을 이용하여 탐지된 산사태 발생 위치의 정확성을 판단하기 위하여 실제 산사태 발생지역의 현지답사를 수행하여 산사태 위치도를 작성하였다. 작성결과 산사태가 일어난 개소는 358개소이며,

5 m×5 m 격자로는 3084개에 해당된다(Fig. 1).

산사태와 관련된 각종 지형정보를 구축하기 위하여 필요한 관련 자료들을 수집하였다. 수집된 모든 자료는 ARC/INFO 프로그램을 이용하여 공간 데이터베이스로 구축하였다(Table 1). 지형자료로서는 1:25,000 수치지형도를 자료변환 후 내삽의 과정을 거쳐 수치표고모델(DEM)을 작성하였다. 이렇게 작성된 수치표고모델로부터 지형경사도, 지형사면방위도, 지형곡률도 등을 작성하였다. 지형경사도는 지형의 기울기를, 지형사면방위도는 지형사면이 가르치는 방향을 각각 나타낸다. 지형곡률의 경우, 0값을 기준으로 음의 값으로 갈수록 경사면의 형태가 오목한 것을 나타내며, 양의 값으로 갈수록 경사면의 형태가 볼록한 것을, 0은 경사면의 형태가 평탄한 것을 나타낸다. 임상자료로는 1:25,000 임상도로로부터 임상 종류도, 임상 경급도, 임상 영급도, 임상 밀도도를 구축하였다. 임상 종류도는 나무의 종류를, 임상 경급도는 나무 지름을, 임상 영급도는 나무의 수령을, 임상 밀도도는 나무의 밀도를 각각 나타낸다. 또한 1:50,000 개략도양도로부터 토질도, 토양 배수도, 토양 모재도, 유효토심도, 토양 지형도를 작성하였다. 토질은 토양 입자 크기에 의해 분류된 것이며, 모재는 토양이 어떤 암상으로부터 형성되었는가를, 배수는 물의 배수 정도를, 유효토심은 토양의 유효두께를, 지형은 토양이 분포한 지역의 지형을 각각 나타낸다. 마지막으로 LANDSAT TM 영상을 분류하여 토지이용도를 작성하여 데이터베이스를 구축하였다. 지질자료의 경우 본 연구지역은 남동쪽의 약간의 화강암을 제외하고는 대부분 편마암으로 이루어져 있기 때문에 고려하지 않았다. 모든 자료의 공간해상도는 산사태 위치 탐지를 위해 사용되었던 IRS-1C 영상의 해상도인

Table 1. GIS data layers.

Type	Data set
Landslide location data	Landslide location
Topographic data	Slope
	Aspect
	Curvature
Forest data	Topographic type
	Wood type
	Wood diameter
	Wood age
	Wood density
Soil data	Soil texture
	Soil drainage
	Soil material
	Soil effective thickness
Land use data	Land use map

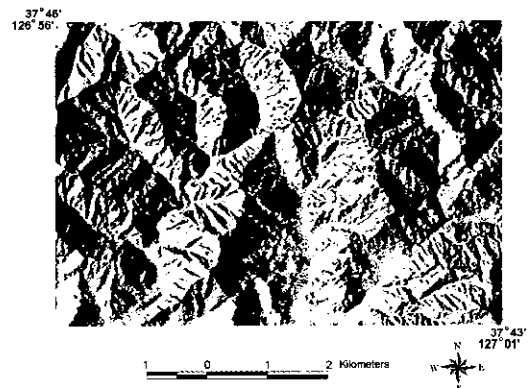


Fig. 2. Landslide location map draped over shaded relief map.

5m×5m로 구성하였으며, 연구지역의 격자 개수는 가로 1,468개, 세로 1,110개인 총 1,629,480개이다.

3. 산사태 발생 위치와 지형공간정보의 연관성 분석

일반적으로 산사태 예측을 수행하기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하게 된다. 우선 산사태는 각 지형공간정보에 의해 특징이 정의될 수 있으며, 미래의 산사태는 기 발생한 산사태와 동일한 조건하에서 일어날 수 있다는 것이다(Chung and Fabbri, 1999). 이러한 가정에 기반을 두어 산사태가 발생한 지점과 지형공간정보와의 연관성은 산사태가 발생 혹은 발생하지 않은 지역과 지형공간정보와의 관계와 구별이 되어야 한다. 이러한 구별을 정량적으로 표현하기 위하여 우도비를 사용하였다.

우도비는 어떤 사건이 특정 속성에서 일어나지 않을 확률에 대한 일어날 확률의 비로 정의되는데(Bonham-Carter, 1994), 산사태의 경우에 적용할 경우 다음과 같이 표현될 수 있다. 산사태가 일어난 사건을 A, 일어나지 않을 사건을 \bar{A} , 특정 공간정보의 속성을 B라고 했을 때, 속성 B에서의 우도비는 Fig. 3의 관계로부터 조건부 확률의 비로 표현된다. 즉 산사태 발생한 지점과 산사태가 발생하지 않은 지점에서 지형공간정보의 빈도수 차이를 조건부 확률의 비로 표현하게 된다. 산사태는 각 지형공간정보에 의해 특징이 정의될 수 있다는 가정하에, 이러한 조건부 확률의 비는 산사태 취약성을 나타내는데 있어서 발생지역과 미발생지

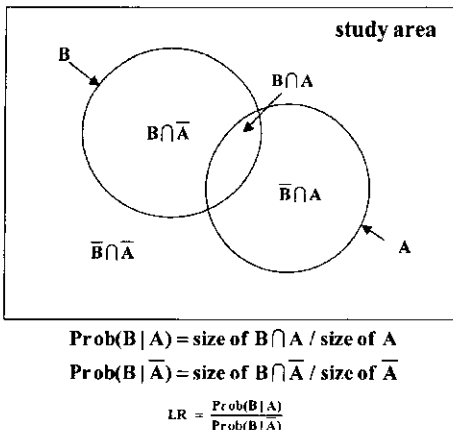


Fig. 3. A Venn diagram summarizing the spatial overlap relationships between the map pattern B and the landslide pattern A (modified from Bonham-Carter, 1994).

역의 차이를 정량적으로 부각시켜 나타낼 수 있는 장점이 있다. 우도비가 1보다 클수록 그 속성에서의 산사태 발생 가능성이 높음을 의미하며, 1보다 작을수록 산사태 발생 가능성이 낮은 것을 의미한다.

본 연구에서는 우도비를 계산하기 위하여, 래스터 형태로 구축된 공간지형정보 데이터베이스의 각 주제도별로 빈도수 분포를 나타내는 통계분할표(contingency table)를 작성한 후 각 요인의 범위 혹은 종류별로 산사태 발생 유무에 대한 면적 비율을 구하였다. 그리고 각 주제도의 범위 혹은 종류별로 연구지역 전체에서 산사태가 발생하지 않은 지역의 면적 비율 및 산사태가 발생한 지역의 면적 비율을 각각 계산하여 우도비를 구하였다. 이렇게 계산된 각 주제도의 범위 혹은 종류별로 계산된 우도비를, 이사로와 민경덕(2000)에 의해 분석된 용인지역에 대한 연구결과를 함께 분석하여 산사태와 지형공간정보와의 연관성을 다음과 같이 비교 분석하였다.

3.1. 산사태와 지형과의 관계

보통 산사태에 가장 많은 영향을 주는 요인 중의 하나가 지형적인 요인인데, 본 연구에서는 수치표고모델로부터 추출된 지형경사, 지형사면방위, 지형곡률과 토양도로부터 추출된 지형종류를 고려하였다.

본 연구지역인 장흥의 경우(Fig. 4, Fig. 5), 경사각이 커질수록 산사태 발생확률 즉 우도비가 높게 나타났으며, 특히 20° 이상에서 주로 발생한 것으로 나타났으며, 우도비 또한 1보다 크게 나타나 이 경사각 이상에서 산사태가 많이 발생하였다. 용인지역의 경우 경사각이 커질수록 뚜렷하게 산사태 우도비 값이 증가하였으며, 24° 이상에서 산사태 우도비가 매우 높게 나타났다(이사로와 민경덕, 2000). 또한 산사태가 많이 발생할 수 있는 경사각이 대략 15° 이상인 것으로 관찰되었는데, 장흥지역에서도 15° 이상에서 산사태가 많

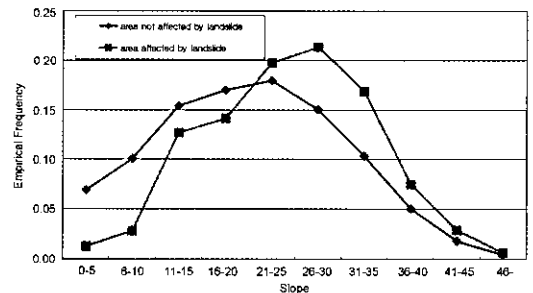


Fig. 4. Empirical frequency distribution with respect to slope.

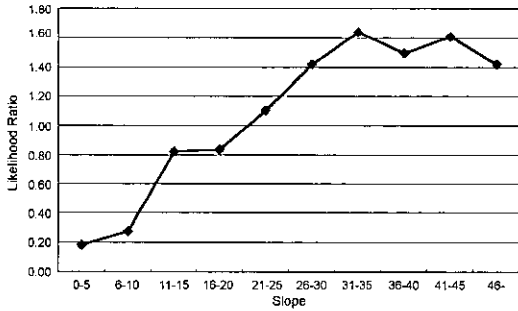


Fig. 5. Likelihood ratio of slope layer.

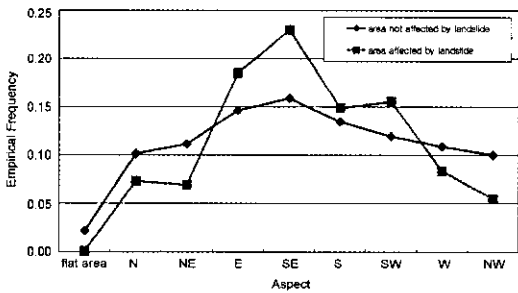


Fig. 6. Empirical frequency distribution with respect to aspect.

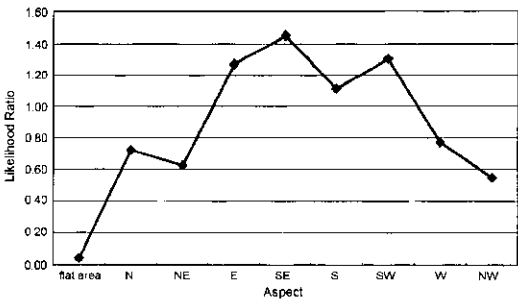


Fig. 7. Likelihood ratio of aspect layer.

이 발생하기 시작한 것으로 분석되었다. 이러한 양상은 낮은 경사에서도 집중 호우시 산사태가 발생할 수 있다는 것을 의미하는 것이다.

사면방위의 경우(Fig. 6, Fig. 7), 동, 남동, 남, 남서 쪽에서 산사태가 주로 발생하였는데, 이는 일반적으로 산사태 발생은 일반적으로 사면 방위로 인한 일조시간 차이에 의한 토층내의 지하수의 위치, 기반암의 풍화 정도, 식생의 생육차이로 인해 사면 방위가 남향인 것의 붕괴가 북향의 것보다 많다는 연구결과(토질안전재료위원회, 1999)와 부합되는 양상이다. 그러나 용인지역의 경우, 이와는 반대로 북, 북동쪽이 산사태 우도비가 높았으며, 남쪽, 남서쪽이 우도비가 낮게 나타

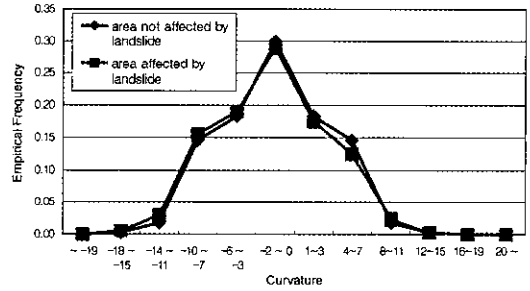


Fig. 8. Empirical frequency distribution with respect to curvature.

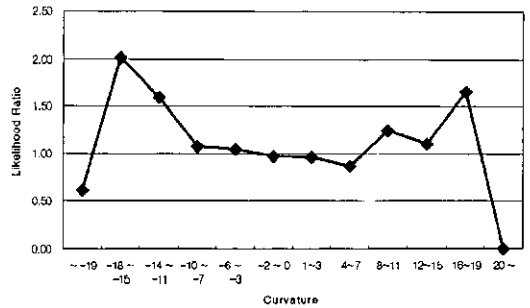


Fig. 9. Likelihood ratio of curvature layer.

났다. 지역적으로 살펴보았을 때, 급경사 지역이 선구 조나 계곡 등에 의해 몇 개의 방향으로만 발달하여 경사각과 사면이 서로 연관되어 나타날 수 있기 때문에 남쪽 사면이 아닌 지역에서도 나타날 수 있다는 사실과 관련이 있는 연구결과(박용원 등, 1993)와 관련이 있는 듯하며, 산사태와 사면방위에 대한 관계는 다른 연구지역과의 비교가 더 필요하다고 판단된다.

곡률의 경우(Fig. 8), 산사태가 발생한 지역과 산사태가 발생하지 않은 지역에서의 확률분포가 거의 비슷한 양상을 보이고 있다. 우도비는 곡률이 -18에서 19까지의 범위에서 1보다 큰 값을 나타내어, 이 범위에서 주로 산사태가 발생한 것으로 나타났다(Fig. 9). 장흥지역의 우도비는 곡률이 0인 평평한 지역을 중심으로 대칭으로 나타났는데, 대체로 곡률이 음인 부분이 양인 부분보다 상대적으로 값이 더 큰 양상을 보이고 있는데, 일반적으로 집중 호우시 경사면이 오목할수록 물을 더 많이, 오랫동안 가질 수 있기 때문에 산사태가 더 발생할 것으로 생각된다. 용인지역의 경우, 곡률이 음의 값에서 값이 작아질수록 산사태 우도비가 증가하였고, 볼록한 경사면에서는 값이 대체적으로 작게 나타났다. 이러한 연구결과로 볼 때, 경사면이 볼록한 것이 산사태를 발생시키지 않는다고 단정지을 수는 없을 것으로 판단된다.

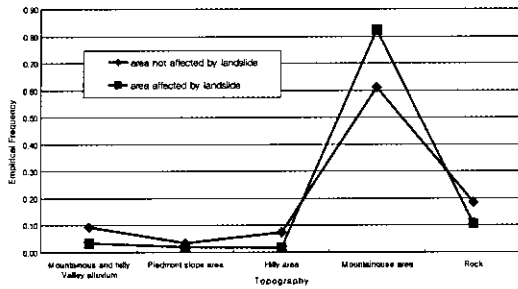


Fig. 10. Empirical frequency distribution with respect to topography.

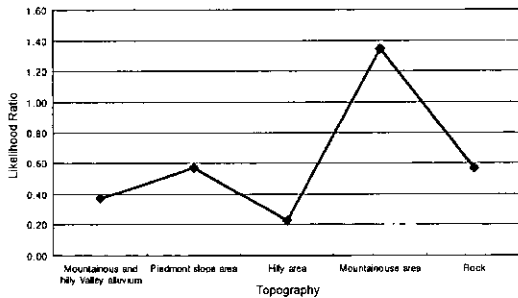


Fig. 11. Likelihood ratio of topography layer.

지형종류의 경우(Fig. 10, Fig. 11), 산악지에서 산사태가 주로 발생한 것으로 나타났는데, 이는 용인지역의 결과와 일치하며 지형 종류가 결국 경사각과 밀접한 관련이 있으므로 경사각에 따라 이러한 결과가 나타났다고 볼 수 있다.

3.2. 산사태와 토양과의 관계

산사태와 토양과의 관계를 살펴보기 위하여, 토질, 토양 배수, 토양 모재, 유효 토심과의 관계를 정량적으로 분석하였다.

토질의 경우(Fig. 12, Fig. 13), 암쇄토에서 산사태 우도비가 가장 크게 나타났으며, 암석노출지, 퇴적토

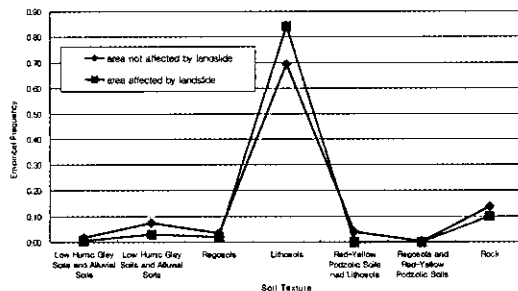


Fig. 12. Empirical frequency distribution with respect to soil texture.

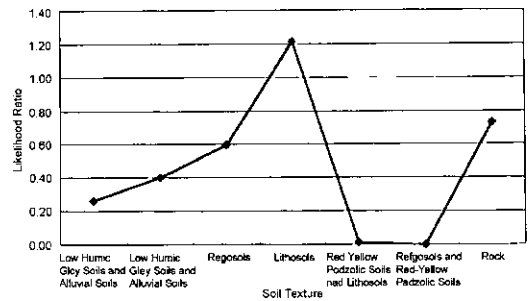


Fig. 13. Likelihood ratio of soil texture layer.

순으로 산사태 우도비가 높게 나타났다. 반면, 적황색토를 포함한 토질은 산사태 우도비가 낮게 나타났다. 일반적으로 암반내 물의 이동이 쉽고 흡수 또한 빨리 이루어질 경우 산사태가 많이 발생하며, 성분에 따라 강우에 의해 포화되는 속도가 달리 나타나 산사태 발생에 크게 영향을 미치게 된다(신진수, 2001). 본 연구 지역의 결과는 토양 입자 크기와 관련된 것으로 판단되는데, 암석을 포함한 토양의 경우 토양 입자 사이의 공극률이 커서 물을 많이 보유하거나 흐르게 할 수 있어서 산사태 우도비가 높은 것으로 판단된다. 용인지역의 경우 자갈이 많은 양토, 바위가 많은 사양토 및 양토 등에서 산사태 우도비가 높게 나타났으며, 양토

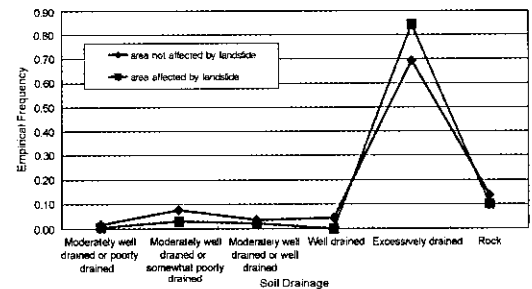


Fig. 14. Empirical frequency distribution with respect to soil drainage.

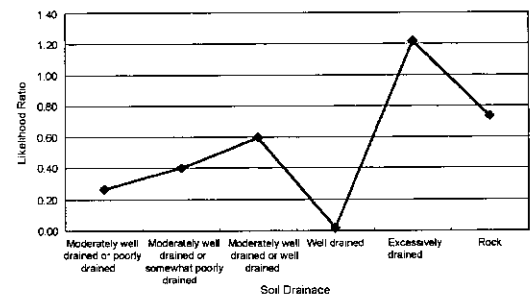


Fig. 15. Likelihood ratio of soil drainage layer.

및 사양토 등에서 산사태 우도비가 낮게 나타났다. 이러한 결과는 장흥지역과도 일치한다.

토양 배수의 경우(Fig. 14, Fig. 15), 배수가 매우 양호한 경우에서 산사태 우도비가 높은 것으로 나타났다. 일반적으로 집중 호우시 배수가 잘 될수록 물의 흐름을 조절하여 토양이 물을 많이 포함하여 결국 이로 인해 산사태 우도비가 높아지는데, 용인지역의 경우도 배수가 잘 될수록 산사태 우도비가 뚜렷이 높게 나타났다.

토양 모재의 경우(Fig. 16, Fig. 17), 산성암 잔적층에서 산사태 우도비가 높게 나타났으며, 산성암 봉적 및 퇴적층에서는 산사태 우도비가 낮게 나타났다. 용인지역의 경우도, 편마암 및 편암 잔적층에서 산사태 우도비가 높게 나타났으며, 곡간 및 하성 충적층, 봉적층 등이 산사태 우도비가 낮게 나타났다. 토사는 붕괴 후 향후 산사태에 더 취약해지는 것이 일반적이나, 본 연구에서는 확률값이 작게 나타나서 이에 대한 관계 연구가 필요한 것으로 사료된다.

유효 토심의 경우(Fig. 18, Fig. 19), 실제 토양 두께와 다르나 실제 토양 두께를 구할 수 있는 자료가 없어 유효 토심을 토양 두께와 비례한다고 판단하고 이용하였다. 분석 결과 유효 토심이 얇을수록 산사태

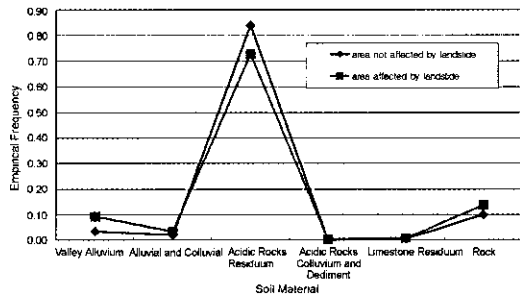


Fig. 16. Empirical frequency distribution with respect to soil material.

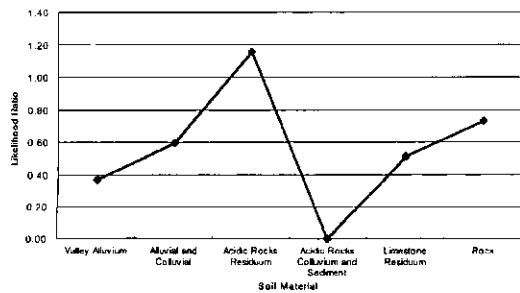


Fig. 17. Likelihood ratio of soil material layer.

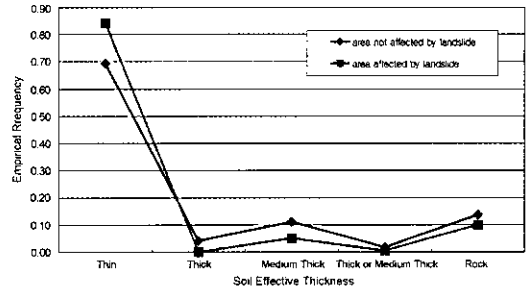


Fig. 18. Empirical frequency distribution with respect to soil effective thickness.

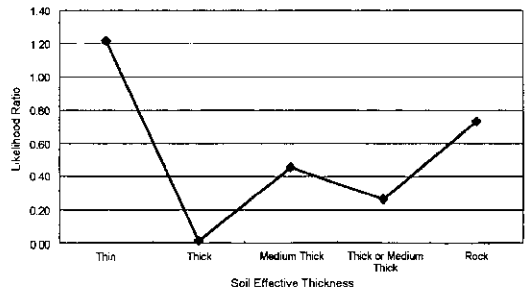


Fig. 19. Likelihood ratio of soil effective thickness layer.

우도비가 높게 나타났다. 이는 집중 호우시 토양층이 얇으면 금방 물이 포화되어 물을 배출하기 전에 붕괴 가능성이 높아지고 반대로 토양층이 두꺼우면 물을 많이 보유할 수 있고 또 계속 물을 배출하므로 그만큼 붕괴 가능성이 적어 이러한 결과를 보여준다고 판단된다. 용인지역의 경우도 장흥지역과 마찬가지로 유효 토심이 얇을수록 산사태 우도비가 높게 나타났다.

3.3. 산사태와 임상과의 관계

산사태와 임상 관련 요인으로는 임상, 영급, 경급 및 밀도와와의 관계를 분석하였다.

임상의 경우(Fig. 20, Fig. 21), 잣나무림에서 산사태 우도비가 가장 높게 나타났으며, 활엽수혼효림, 침활혼림 및 리기다소나무림 등에서 높게 나타났다. 이러한

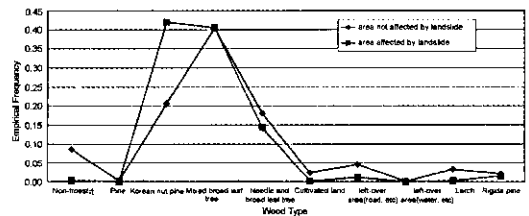


Fig. 20. Empirical frequency distribution with respect to wood type.

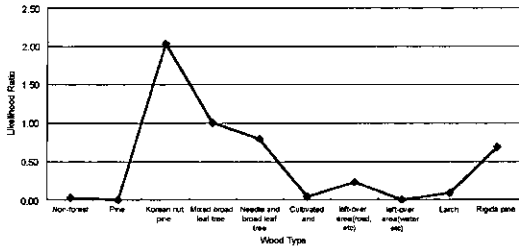


Fig. 21. Likelihood ratio of wood type layer.

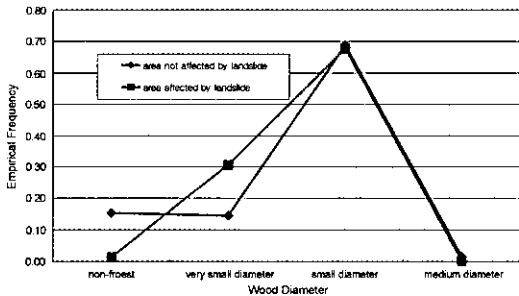


Fig. 22. Empirical frequency distribution with respect to wood diameter.

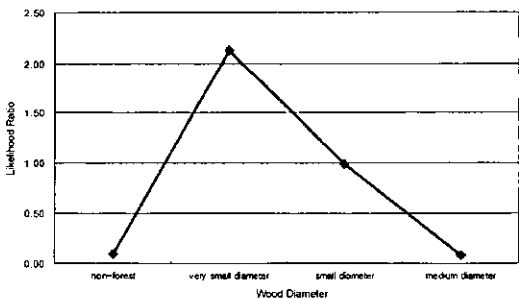


Fig. 23. Likelihood ratio of wood diameter layer.

결과는 용인지역의 결과와 일치하며 일반적으로 침엽수림에서 더 많은 산사태가 발생한다고 보고된 결과(최경, 1986)와도 대체로 일치하는 결과이다.

경급의 경우(Fig. 22, Fig. 23), 치수 지역이 소경목 지역보다 산사태 우도비가 높게 나타났다. 치수는 흉고 직경 6 cm 미만의 나무의 점유 비율이 50% 이하이고, 소경목은 흉고 직경이 6~16 cm 미만의 나무의 점유 비율이 50% 이하인 경우이다. 일반적으로 경급이 높을수록 산사태 발생건수는 줄어드는 현상과 일치하였으며, 용인지역의 결과와도 일치하였다. 이는 나무의 흉고가 클수록 나무도 크고 또한 뿌리도 많이 발달되어 있는데, 식생이 표면을 덮고 있어서 침식을 억제하고 뿌리에 의해 항작용과 단작용으로 토질의 강도를

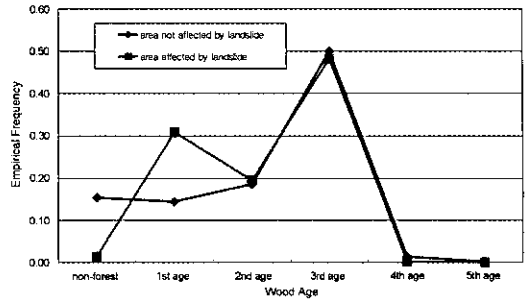


Fig. 24. Empirical frequency distribution with respect to wood age.



Fig. 25. Likelihood ratio of wood age layer.

보강한다고 판단된다. 따라서 집중 호우시 흉고의 차이에 따른 물의 함수 능력 및 흙의 지지력의 차이로 인해 흉고가 적을수록 산사태 우도비가 큰 것으로 판단된다.

영급의 경우(Fig. 24, Fig. 25), 영급이 적을수록 산사태 우도비가 높게 나타났는데, 이러한 결과는 용인지역의 결과와 일치한다. 영급에서 1영급은 1-10년생 나무의 점유 비율이 50% 이상, 2영급은 11-20년생 나무의 점유 비율이 50% 이상, 3영급은 21-30년생 나무의 점유 비율이 50% 이상, 4영급은 31-40년생 나무의 점유 비율이 50% 이상, 5영급은 41-50년생 나무의 점유 비율이 50% 이상인 경우에 해당된다. 이는 나무의 나이에 따라 침식을 억제해주는 표면을 덮고 있는 정도와 뿌리의 발달정도가 차이가 나서 집중 호우시 물의 함수 능력 및 흙의 지지력의 차이를 유발시킨 것으로 판단된다. 이러한 차이로 인해서 영급이 적을수록 산사태 우도비가 높게 나타난 것으로 판단된다.

밀도의 경우(Fig. 26, Fig. 27), 밀도가 작은 지역보다 높은 지역에서 산사태 우도비가 높게 나타났다. 일반적으로 밀도가 높을수록 산사태 우도비가 높아지는데, 본 연구지역의 결과는 반대되는 양상을 보이는데 용인지역의 경우도 마찬가지로 결과를 보여주었다. 우리

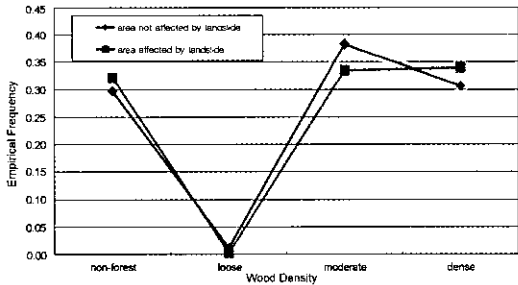


Fig. 26. Empirical frequency distribution with respect to wood density.

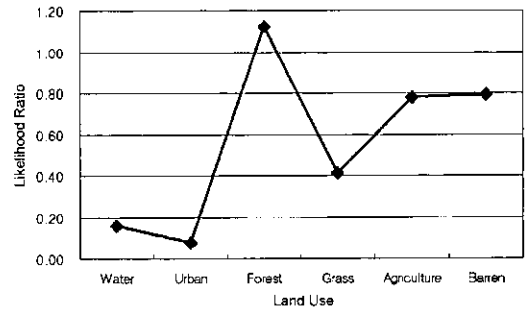


Fig. 29. Likelihood ratio of land use layer.

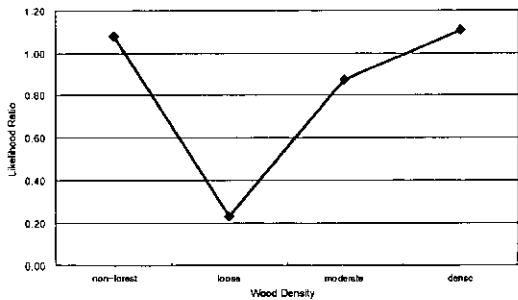


Fig. 27. Likelihood ratio of wood density layer.

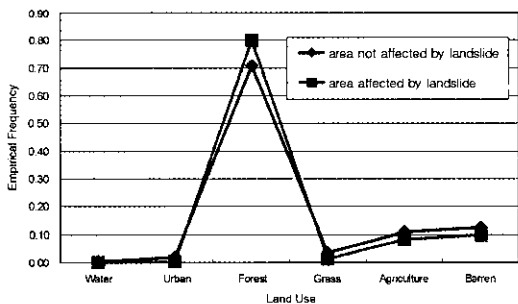


Fig. 28. Empirical frequency distribution with respect to land use.

나라 수종은 산사태 방지효과가 적은 수종이어서 밀도가 높아도 산사태 방지율이 높은 것이 아니기 때문에 (이사로와 민경덕, 2000), 다른 지역 자료에 대한 분석이 요구된다.

3.4. 산사태와 토지이용과의 관계

산사태와 토지이용과의 관계를 살펴보면(Fig. 28, Fig. 29), 산림에서 산사태 우도비가 높게 나타나고, 나대지, 농지, 초지 등의 순으로 지역에서 산사태 우도비가 낮아지는 양상을 보였다. 이는 산사태가 주로 산에서 발생하였고, 지형과 관련하여 경사도가 높은 지역에 해당되기 때문이라고 판단된다.

3.5. 산사태 취약성 분석 및 분석 결과 평가

각 주제도의 범위별 혹은 종류별에 대한 우도비를 계산한 다음, 우도비의 곱합을 통한 산사태 취약성 지수(LSI: Landslide Susceptibility Index)를 계산하였다. 산사태 취약성 지수는 이사로(2000)와 Lee and Min(2001)에 의해 제안된 방법을 이용하여, 가중치는 주관적으로 주지 않고 모두 1로 같게 주어 각 주제도의 우도비의 값을 종합적으로 표현하기 위하여 식(1)과 같이 계산하였다.

$$LSI = \sum LR_i \quad (1)$$

(LR_i: 각 요인의 범위별 혹은 종류별 우도비) 식

식 (1)을 이용하여 계산된 산사태 취약성 지수는 Fig. 30에 제시하였다. 그리고 계산된 산사태 취약성 지수의 기존 산사태 발생을 설명하는 능력을 정량적으로 표현하기 위하여 Chung and Fabbri(1999)가 제안한 추정능력(success rate)을 계산하였다(Table 2). 추정능력을 계산하기 위하여, 산사태 취약성 지수 값의 상대적 순위(rank)를 계산하여 10%별로 값을 재분류하여 그 범위에 포함되는 기존 산사태 발생 위치의 셀 수를 계산하여 상대적 비율을 계산하였다. 상대적 순위를 사용할 경우, 각 범위가 연구지역 전체에서 차지하는 비율이 같기 때문에 서로 비교하기에 수월하며, 다른 모델을 사용하여 계산된 결과와 비교할 수 있다. 추정능력을 보게되면(Fig. 31), 산사태 취약성 지수가 높은 경우인 순위가 높은 부분으로 갈수록 산사태가 많이 발생되었음을 확인할 수 있다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 경기도 장흥지역을 대상으로 하여 지형공간정보와 산사태와의 연관성 분석을 수행하였다. 우선 위성영상과 현지조사를 통해 산사태 위치를 파악

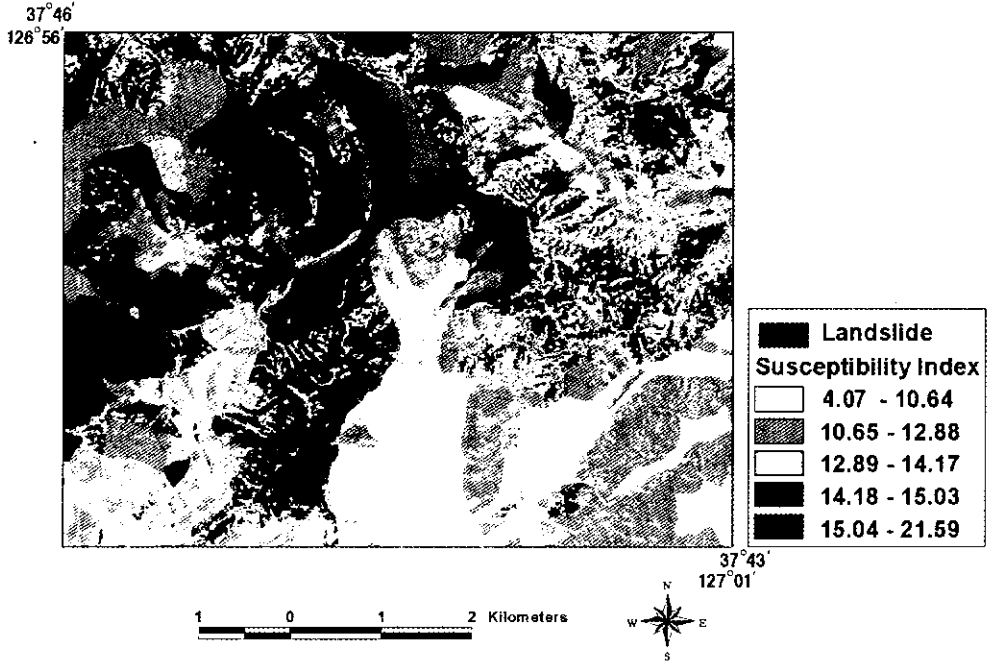


Fig. 30. Landslide susceptibility map using likelihood ratio.

Table 2. Relationship between landslide susceptibility index rank and landslides.

Landslide susceptibility rank	Landslides	
	cell count	portion (cell count/3084, %)
0%-10%	23	0.75
11%-20%	67	2.17
21%-30%	98	3.18
31%-40%	217	7.04
41%-50%	207	6.71
51%-60%	248	8.04
61%-70%	367	11.90
71%-80%	480	15.56
81%-90%	589	19.10
91%-100%	788	25.55
total	3084	100.00

하고, 1:25,000 지형도, 1:50,000 개략도양도, 1:25,000 임상도 등을 GIS환경에서 데이터베이스로 구축하였다. 여기서 산사태 발생 요인인 경사, 사면방위, 곡률 등은 지형도에서, 토질, 모재, 배수, 유효토심, 지형 등은 토양도에서, 임상, 경급, 영급, 밀도 등은 임상도에서, 암상은 지질도, 토지이용은 Landsat TM 영상을 분류하여 추출하였다. 이렇게 구축된 데이터베이스를 이용하여 우도비를 이용하여 산사태와의 연관성을 분석하였

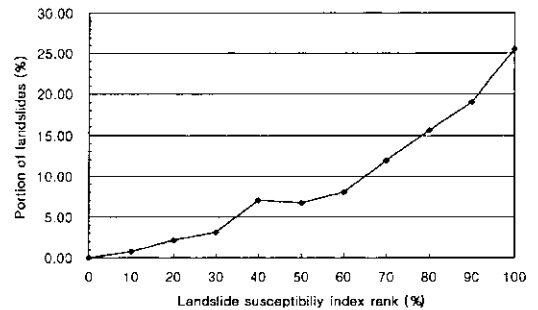


Fig. 31. Portion of landslides with respect to landslide susceptibility index rank.

으며, 기 분석된 용인지역의 분석결과와도 비교를 하였다. 그리고 계산된 우도비를 이용하여 산사태 취약성 지수를 계산하여 산사태 취약성도를 작성하였다.

지형공간정보와 산사태와의 연관성 분석 결과, 장흥 지역의 연구결과는 용인지역의 연구결과와 사면방위 등을 제외하고는 대체로 일치하는 양상을 보였다. 지형자료의 경우, 사면경사가 20° 이상일 경우, 사면방위가 남향일 경우, 곡률이 음일 경우 산사태 발생확률 즉 우도비가 높았다. 토양자료의 경우, 배수가 잘될수록, 유효토심이 얕을수록 산사태 우도비가 높았다. 그리고 임상자료의 경우, 수종이 잣나무일 경우, 경급과 영급이 낮을수록 산사태 우도비가 높게 나타났다. 그런데

사면방위에서는 용인지역과 반대의 양상이 나타났으며, 임상 밀도의 경우 밀도가 높은 경우에 산사태 우도비가 높게 나타났는데 이러한 부분에 대해서는 다른 연구지역의 자료 분석이 요구되는 부분이다.

산사태 취약성도 작성결과는 기존 산사태 발생자료 전체를 사용하여 작성된 일종의 추정(assessment) 값에 해당되는데, 예측(prediction)을 위해서는 타당성 검증과정(validation)이 필요하다. 이러한 연구결과를 바탕으로 산사태 관련 주제도들에 대해서 다른 연구 지역 및 다른 공간 통합 방법의 수행을 통한 예측 및 예측 결과의 타당성 검증에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

본 연구를 통해 산사태와 지형공간정보간의 관계를 파악할 수 있었으며, 도출된 결과가 산사태 분석에 구체적으로 활용되기 위해서는 전국을 대상으로 산사태가 발생한 지역에 대해 적용 및 분석이 이루어져야 하며, 산사태 분석에 중요한 부분을 차지하는 산사태 발생 자료의 정확한 위치 선정이 뒤따라야 할 것이다. 최근 고해상도 영상의 보급이 확대됨에 따라 산사태 예측에 중요한 자료인 기존 산사태 발생위치는 영상을 통해서 정확하게 구축될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에 사용된 지형, 토양, 임상 등의 지형공간정보는 이미 전국을 대상으로 대부분 구축되어 있는 상태이기 때문에 지형공간정보와 산사태 발생과의 연관성에 대

한 구체적인 연구가 진행된다면 빠른 시간에 산사태 예측 및 예방에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

박용원, 김감래, 여운광 (1993) 1991년 용인-안성 지역 산사태연구, 한국지반공학회지, 9권, p. 103-116.
 신진수 (2001) 다목적실용위성과 공간정보를 이용한 산사태 예측 기법 비교연구, 고려대학교 석사학위논문, 79p.
 이사로 (2000) 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 연세대학교 박사학위 논문, 163p.
 이사로, 민경덕 (2000) 공간 데이터베이스를 이용한 1991년 용인지역 산사태 분석, 대한자원환경지질학회지, 33권, p. 321-332.
 최 경 (1986) 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구, 강원대학교 박사학위 논문.
 토질안정재료위원회 (1990) 사면 안정 공법, 창우출판, 321p.
 Bonham-Carter, G.F. (1994) Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS, Pergamon, p. 304-307.
 Chung, F.C. and Fabbri A.G. (1999) Probability prediction models for landslide hazard mapping, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 65, p. 1389-1399.
 Lee, S. and K. Min (2001) Statistical analysis of landslide susceptibility at yongin, Korea, Environmental Geology (In press).

2001년 2월 19일 원고접수, 2001년 3월 30일 게재승인.