

GIS를 이용한 산사태 위험지 판정 모델의 개발

이승기¹ · 이병두^{1*} · 정주상¹

Development of a Landslide Hazard Prediction Model using GIS

Seung-Kii LEE¹ · Byung-Doo LEE^{1*} · Joo-Sang CHUNG¹

요 약

본 연구에서는 산림청에서 산사태 위험지를 판정하는데 이용하고 있는 판정표를 기반으로 산사태 발생 위험도를 예측할 수 있는 GIS 응용모델을 개발하였다. 이 모델에서 산사태 위험지는 지형, 임상 및 지질과 같은 산림입지환경 인자들 중 7개 인자를 선별적으로 이용하여 분석하도록 설계되었다. 이러한 입지환경 인자들 중 경사길이, 경사위치, 사면형태의 분석은 DEM 자료를 이용하여 산지사면 분석이 가능하도록 개발된 '산사태 예측을 위한 산지사면 입지해석 모듈'을 이용하였다. 산사태 위험지 판정 모델의 구조는 원자료를 입력받아 가공, 변환하는 입력모듈과, 산사태 위험지 판정인자를 분석하여 해당지역의 산사태 위험지를 분석하는 모듈, 분석된 산사태 위험도 판정 결과를 제시하는 출력모듈 등으로 구성되어 있다. 경기도 용인·안성 지역에서 발생한 산사태를 대상으로 모델을 적용한 결과 약 72%에 해당하는 산사태가 산사태 위험도 2등급 이상으로 판정된 곳에서 발생하였다.

주요어 : 산사태, 위험도, 판정, 모델, GIS

ABSTRACT

Based on the landslide hazard scoring system of Korea Forest Research Institute, a GIS model for predicting landslide hazards was developed. The risk of landslide hazards was analyzed as the function of 7 environmental site factors for the terrain, vegetation, and geological characteristics of the corresponding forest stand sites. Among the environmental factors, slope distance, relative height and shapes of slopes were interpreted using the forestland slope interpretation module developed by Chung et al. (2002). The program consists of three modules for managing spatial data, analyzing landslide hazard and report-writing. A performance test of the model showed that 72% of the total landslides in Youngin-Ansung landslides area took place in the highly vulnerable zones of grade 1 or 2 of the landslide hazard scoring map.

KEYWORDS : landslide Hazard Scoring System, Forestland Slope Interpretation, GIS Model

2005년 10월 4일 접수 Received on October 4, 2005 / 2005년 11월 22일 심사완료 Accepted on November 22, 2005

¹ 서울대학교 산림과학부 Department of Forest Sciences, Seoul National University

* 연락처 E-mail : rubus@chol.com

서론

우리나라는 산지가 많고 여름철에 집중된 강우로 인하여 산사태가 빈번하게 발생한다. 산사태는 임지 훼손의 직접적이 원인이 되며, 특히 주거지가 형성된 곳에서 발생한 산사태는 인명과 재산상의 피해를 동반하게 된다. 매년 되풀이되는 산사태에 효과적으로 대처하기 위해서는 산사태 발생 위험이 높은 지역에 대한 정확한 예측과 이를 통한 집중적인 관리가 요구된다. 하지만, 산사태 발생 과정에는 지질, 지형, 기상, 임상 등의 많은 인자들이 복잡한 양상으로 관련되어 예측이 쉽지 않고, 전국에 걸쳐 동시다발적으로 발생되기 때문에 효과적인 대처가 어려운 것이 사실이다.

이러한 이유로 인하여 산사태의 발생과 진행 과정을 구명하거나 산사태 위험지를 예측하기 위한 다양한 연구들이 이루어져 왔다. 이 중 산사태와 관련이 있는 인자로서 최경(1986)은 모암, 사면의 횡단면, 사면길이, 경사도, 사면위치, 임분의 경급, 석력함량, 토심 및 종단면형 등을 제시하였다. 이와 비슷한 관점에서 마호섭(1994)은 산지붕괴시 붕괴사면의 크기는 강우, 임령, 토성, 경사, 경사위치, 곡차수, 임상 등과 관련이 있다고 하였다. 이 외에 홍원표 등(1990), 김운원(1990), 백한기(1995) 등은 산사태와 강우가 밀접한 관련이 있다고 하였으며, 이인모 등(1992)은 토양의 간극수압을 이용해 산사태 위험도를 예측하고자 하였다.

이러한 산사태와 관련된 다양한 연구결과를 바탕으로 국립산림과학원(구 임업연구원, 1999)은 전국에 걸쳐 발생한 산사태를 현지 조사하여 산사태 자체의 특성과 산사태 관련인자에 대한 자료를 수집한 다음, 산사태 위험지를 판정하는 기준을 개발하였다.

한편, 산사태는 대단위 면적에 걸쳐 발생하기 때문에, GIS (Zevenbergen과 Thorne, 1987; Jenson과 Domingue, 1988; 이사로, 1993; 신은선, 1996; 한 대석 등, 1998; 용계숙, 1999)와 RS 기법(곽재하, 1994; 원종석, 1996) 등의 공간 분석기술이 산사태 분석에 응용된 적이 있다.

하지만, 이러한 연구들은 산사태문제에 대해 GIS와 RS 응용기법 개발에 중점을 두었고 실무적인 모델을 제시하지는 못하였다.

따라서 본 연구에서는 GIS의 공간분석기능에 기반하여 국립산림과학원에서 1999년에 개발한 산사태 위험지 판정표에 제시된 산사태 관련 7개 인자에 대해 자동화된 분석기법을 제시하고, 정주상 등(1992)의 연구결과를 통합하여 산사태 업무 현장에서 이용이 가능한 산사태 위험지 판정 모델을 개발하고자 하였다.

산사태 위험지 판정인자 및 평가기준

산사태 위험지를 판정하는데 이용되는 인자와 평가 기준은 표 1에서와 같이 산사태 위험지 판정표(임업연구원, 1999)를 기반으로 작성되었다. 이 판정표는 1980~1983년과 1990~1992년에 전국에 걸쳐 발생한 산사태 511개소를 조사하여 작성한 것으로 다변량 해석기법을 적용하여 만들어졌다.

이 판정표는 모암, 임상, 경사길이, 경사도, 경사위치, 사면형태, 토심 등 7개 인자에 대한 현지 조사자료를 토대로 산사태 위험도를 정량적으로 평가하도록 되어 있다. 이러한 현지 조사 자료에 따른 평가 기준이 표 2에 나타나 있다. 즉, 이 표에 의하면 각 인자별 점수를 합하여 그 점수가 60점 미만이면 산사태의 위험성이 없는 곳(4등급)으로 판단하고, 61점 이상일 때 산사태가 발생할 위험이 큰 것으로 판단한다. 또한 산사태 발생 위험이 큰 곳에 대해서는 그 위험도를 상, 중, 하의 3단계로 세분하여 각각 1등급, 2등급 및 3등급으로 구분한다.

GIS 응용 모델의 개발

1. 개발환경

산사태 위험지 판정 모델을 개발하기 위한 GIS 기본 엔진으로 ESRI사의 ArcView 3.2를 이용하였다. 모델 운용체계 및 사용자 인터페이스 구성을 위해 ArcView에 내장된 프로그래밍

TABLE 1. Scoring system of landslide hazard model (Korea Forest Research Institute, 1998)

| Factors | | Scoring system | | | | |
|--------------------------|-------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Slope (°) | Class | <= 25 | 26-40 | >= 41 | | |
| | Score | 16 | 9 | 0 | | |
| Slope distance (m) | Class | <= 50 | 51-100 | 101-200 | >= 201 | |
| | Score | 0 | 19 | 36 | 74 | |
| Relative height on slope | Class | 0-4 | 5-6 | 7-10 | | |
| | Score | 0 | 9 | 26 | | |
| Shapes of slope | Class | Convex | Linear | Concave | Compound | |
| | Score | 0 | 5 | 12 | 23 | |
| Bed rock | Class | Sedimentary | Igneous (granite) | Metamorphic (phyllite, slate) | Metamorphic (gneiss, schist) | Igneous (porphyry, andesite) |
| | Score | 0 | 5 | 12 | 19 | 56 |
| Soil depth | Class | <= 20 | 21-100 | >= 101 | | |
| | Score | 0 | 7 | 21 | | |
| Vegetation | Class | Coniferous (DBH <6cm) | Coniferous (DBH >= 6cm) | Decidious, Mixed | | |
| | Score | 18 | 26 | 0 | | |

TABLE 2. The grades of landslide hazard (Korea Forest Research Institute, 1998)

| Grade | Score | Level of hazard |
|-------|-----------|-----------------|
| 1 | over 181 | urgent |
| 2 | 121 ~ 180 | high |
| 3 | 61 ~ 120 | medium |
| 4 | below 60 | low |

언어 Avenue를 이용하였으며, 산사태 예측을 위한 산지사면 입지해석모델과의 연동을 위해 MicroSoft사의 프로그래밍 도구인 Visual Basic 6.0 Professional version과 Visual C++ 6.0 version을 이용하였다.

2. 모델의 분석체계

그림 1은 산사태 위험지 판정표(임업연구원, 1999)에 따른 산사태 위험지 판정을 위한 GIS 분석체계를 보여준다. 산사태 발생에 영향을 미치는 인자로 선정된 7개인자 중 경사도, 경사위치, 사면길이, 사면형태 등 4개 인자의 분석은

국토지리정보원에서 발행한 수치지형도를 이용하고, 나머지 3개 인자에 해당하는 임상 및 지질 인자들은 수치임상도와 수치지질도, 입지도를 활용하도록 개발하였다.

한편 이러한 인자들 외에 산사태 판정표에 서는 현지 조사에 따른 조사자의 판단, 현지 주민의 의견, 과거 산사태 발생여부, 주변시설 존재 유무 등의 보정인자도 산사태 위험도 판정에 중요한 변수로 취급된다. 따라서 이 연구에서도 이러한 외적 요인들이 산사태 위험도 판정에 활용할 수 있는 보정함수를 도입하였다.

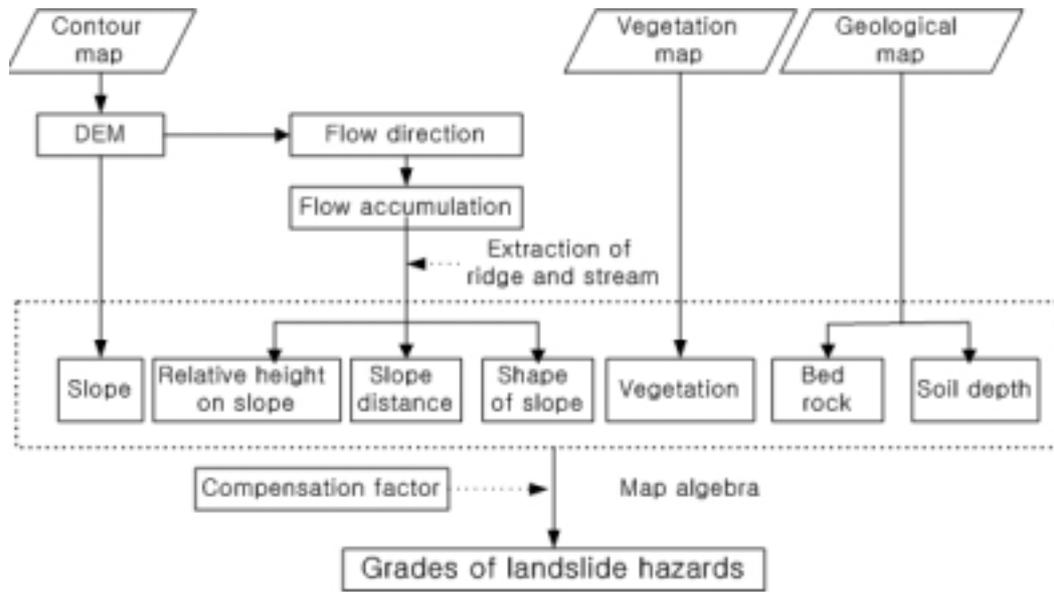


FIGURE 1. The GIS process to estimate the landslide hazards

3. 산지사면의 입지 해석

산사태 판정인자 중 모암과 토심인자는 지질도나 입지도를 통해서 그리고 임상인자는 수치입상도를 통해 쉽게 분석할 수 있다. 또한 경사인자는 상용화된 GIS 프로그램에서 일반적으로 제공되는 기능이고, 알고리즘 또한 이미 개발된 상황이다. 그러나 이 4가지 인자를 제외한 경사길이, 경사위치, 사면형태 등과 같은 산지 사면에 대한 분석은 기존의 상용화된 GIS 기능만으로 해결하기 쉽지 않은 작업이다(정주상 등, 2002).

따라서 본 연구에서는 3가지 지형인자, 즉, 능선까지의 사면거리를 의미하는 경사길이, 사면 하단으로부터 상단까지를 기준으로 사면의 상대적 위치를 의미하는 경사위치 그리고 불룩형, 오목형, 선형, 복합형 등으로 표현되는 사면형태를 해석하기 위하여 정주상 등(2002)이 개발한 '산사태 예측을 위한 산지사면 입지해석모델'을 도입하였다. 이 모델은 등고선과 표고점 자료를 이용하여 DEM을 생성하고, Zevenbergen과 Thorne(1987)과 Jenson과 Domingue(1988)가 제시한 방법을 이용하여 경

사도, 경사향을 분석한다. 그리고 Tarboton 등(1991)이 제시한 수문분석알고리즘을 이용하여 집수방향과 집수량을 분석하여 하천과 능선을 추출한다. 마지막으로 추출된 하천과 능선을 산지사면의 상·하단 경계로 가정하고, 사면(경사길이, 경사위치, 사면형태)을 분석하는 기능을 지니고 있다. 이 모듈은 C++ 언어로 작성되었으며, 다른 응용 프로그램에서도 활용될 수 있도록 DLL 형태로 작성되었다.

4. 모델의 구조와 운용체계

산사태 위험지 판정 모델의 구조는 원자료를 입력받아 가공하는 입력모듈과, 모델의 핵심부 분으로써 지형인자, 임상인자, 지질인자를 종합적으로 분석하여 산사태 위험도를 산출하는 분석모듈, 판정 결과를 사용자에게 제시하는 출력모듈 등 3개의 모듈로 구성되어 있다.

입력모듈은 지형도, 임상도, 지질도 등의 기본도면을 입력받아 모델에서 사용할 수 있는 형태로 변환한다. 지형도는 국토지리정보원에서 발행하는 dxf 형식의 수치지형도를 이용하며, 대상지

모델의 응용

1. 연구대상지

모델의 적용성을 검토하기 위해 경기도 용인 및 안성시 일부 지역을 대상지로 선정하였다. 이 지역은 국토지리정보원에서 발행된 9장의 1:5,000 수치지형도에 분포하고 있으며, 전체 면적은 약 3,557ha이었다. 이 지역은 수도권 인근에 위치하고 있어 비교적 산지 개발에 대한 수요가 크고, 과거 산사태 발생자료가 이미 조사되어 있는 지역이다.

2. 산사태 판정인자의 추출

산사태 위험지 판정을 위한 수치지형도, 수치임상도, 수치지질도 등 분석에 필요한 도면을 입력하였다. 먼저 대상지의 지형도를 이용하여 산지 지형분석에 필요한 등고선자료를 추출하였다. 임상도 또한 국립산림과학원에서 작성한 수치임상도를 입력하였으며, 지질도는 토양도를 기본으로 구축하였다. 분석에 사용된 수치지형도, 수치임상도, 수치지질도 등의 축척이 1:5,000, 1:25,000인 점과 분석에 소요될 시간을 감안하여 래스터 형태의 자료를 생성함에 있어서 격자크기는 25m×25m로 하였다.

산사태위험도 판정 인자 중 경사도는 그림 3과 같이 병합된 등고선 자료를 이용하여 TIN을 생성한 다음, 표면분석을 통하여 산출하였다. 5°이하로 경사가 완만한 지역이 전체의 26.8%를 차지하여 가장 넓게 분포하고 있었으며, 25°가 넘는 산지 또한 22%를 차지하여 급경사지 또한 넓게 분포하였다. 분석대상지의 평균경사는 15°로 나타났다. 경사도 외에 경사위치, 사면길이, 사면형태는 전술한 바와 같이 수문분석을 통해 하천과 능선을 추출한 다음, 사면의 진행방향을 고려하여 계산하였다.

분석 대상지의 경사위치는 그림 4에서와 같이 1부터 10까지 고른 분포를 보이고 있으며,

이 지역의 평균 사면길이는 52m, 최대 사면길이는 1,020m로 나타났다(그림 5). 약 42%의 산지가 산사태에 취약한 복합형의 사면형태로 분석되었으며, 약 5%를 차지하는 불록형의 사면형태는 오목형(27%)과 선형(26%)에 비해 상대적으로 적게 나타나 이 지역의 사면형태는 대체로 산사태에 취약한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. (그림 6).

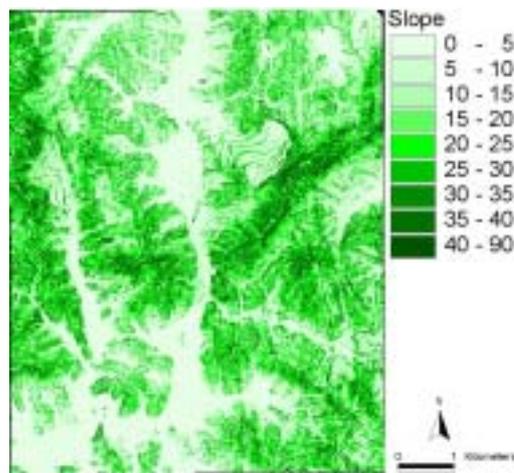


FIGURE 3. Slope

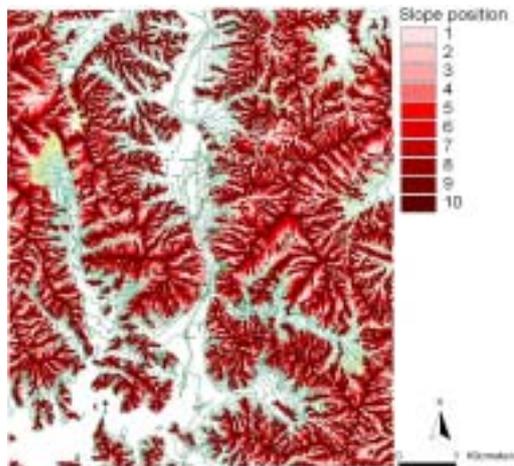


FIGURE 4. Relative height on slope

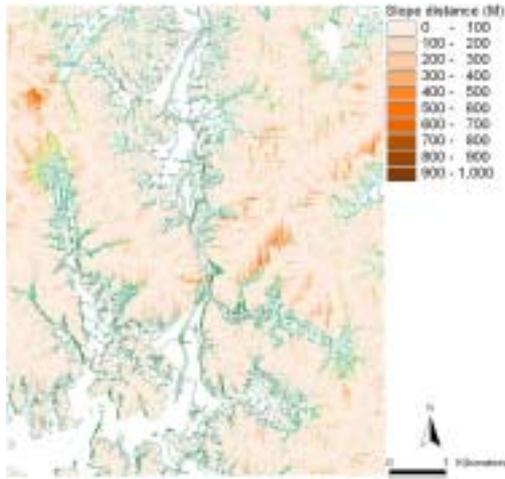


FIGURE 5. Slope distance

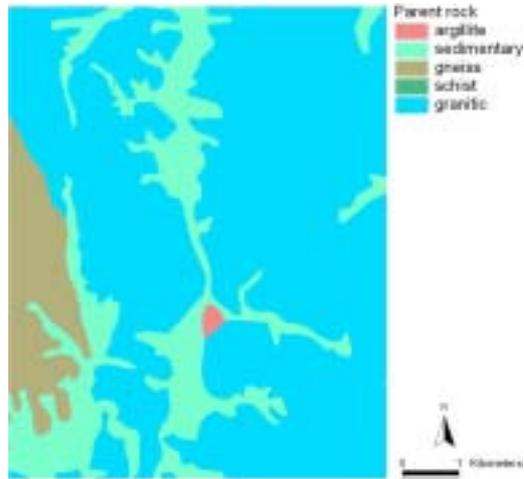


FIGURE 7. Bed rock

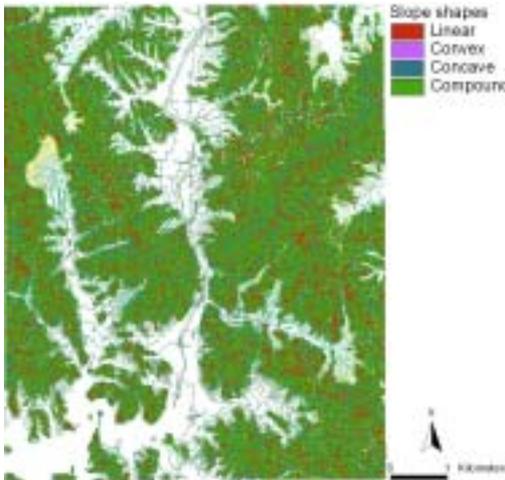


FIGURE 6. Shapes of slope

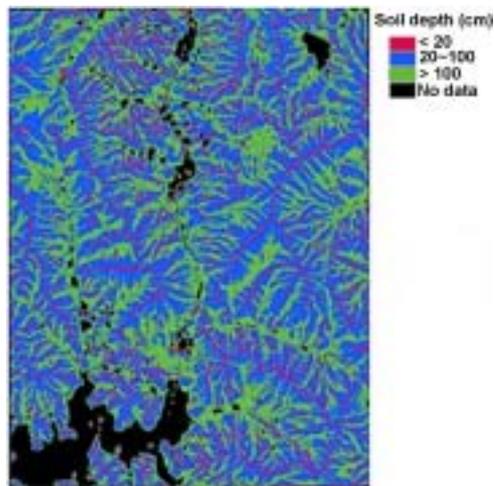


FIGURE 8. Soil depth

화강암으로 구성된 모양이 전체 대상지의 약 71%로 가장 높은 분포를 보이고 있으며, 화강암에 비해 상대적으로 산사태에 취약한 것으로 알려진 편마암으로 구성된 지역은 분석지역의 왼쪽을 중심으로 약 8%를 차지한다(그림 7). 또한 그림 8에서와 같이 20cm 및 100cm를 기준으로 3단계로 구분한 토심의 경우 대부분의 산지가 20cm 이상으로 비교적 양호한 토심을 보이고 있다.

그림 9는 산사태판정표에 따라 수치임상도를 이용하여 임상을 (1)치수 혹은 소경목의 침엽수림, (2)중경목 혹은 대경목의 침엽수림, 그리고 (3)활엽수림 혹은 혼효림의 3가지 유형으로 구분하여 분류한 임상정보를 보여준다. 이 그림에 의하면 일반적으로 산사태 발생을 예방하는 효과가 탁월한 것으로 알려져 있는 활엽수림이나 혼효림 집단이 전체 대상지의 약 70%를 차지하고 있으며, 산사태에 취약한 임상형태인 어린

침엽수림은 전체 분석지의 약 14%를 차지하고 있다.

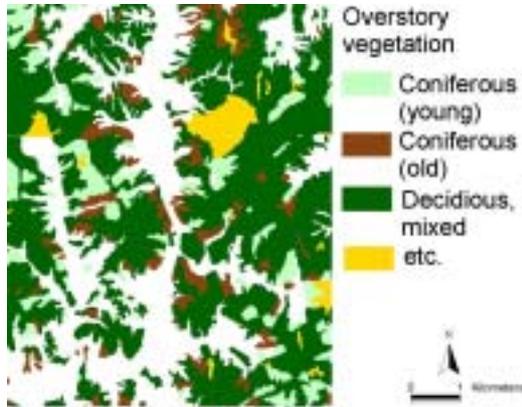


FIGURE 9. Overstory vegetation

3. 용인·안성 지역의 산사태 위험지 판정도

이상에서 추출한 자료를 근거로 분석된 용인·안성 지역의 산사태 위험도 분석결과가 그림 10과 표 3에 제시되어 있다. 전체 면적 중 약 48%에 해당되는 1,635ha의 산림이 60점 이하로써 산사태의 위험성이 없는 지역으로 분류되었다. 산사태 발생확률이 25-50%인 3등급지는 933ha로 약 28%를 차지하고, 산사태 발생확률이 50-75%를 의미하는 2등급지의 면적은 약 664ha로써, 전체 면적의 약 20%를 차지하고 있다. 산사태 발생확률이 75% 이상으로 위험도가 최상인 1등급지는 153ha로 약 5%에 접근하고 있다.

이와 같이 모델을 이용해서 분석한 판정결과를 과거 산사태 발생도면과 중첩분석을 수행한 결과 산지에서 발생한 총 453건의 산사태 중 약 48%에 해당하는 217건이 산사태 위험도가 높다고 판정된 1등급 지역에서 발생하였다. 또한 산사태 위험도 2등급지 이상에서 발생한 산사태는 총 327건으로 전체 산사태의 72%에 해당되어 이 지역에서 발생한 대부분의 산사태가 모델에서 위험도가 비교적 높다고 판정된 2등급 이상의 지역에서 발생했음을 알 수 있다.

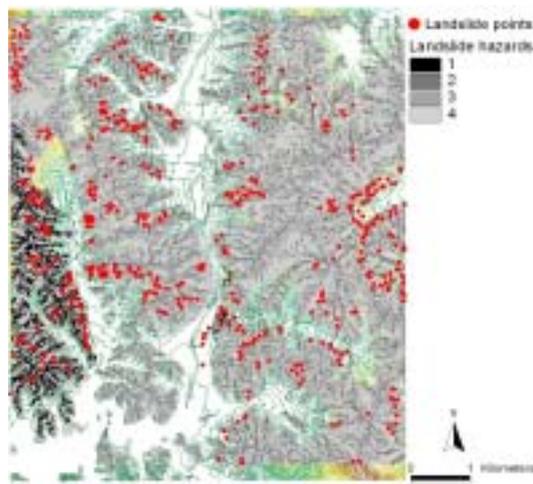


FIGURE 10. The observed landslides locations on the map of the estimated landslide hazard grades distribution

TABLE 3. Area distribution by the grade of landslide hazard of the study area

| Grade | The estimated | | The observed | |
|-------|---------------|------|-------------------|------|
| | Area (ha) | % | No. of landslides | % |
| 1 | 152.9 | 4.5 | 217 | 47.9 |
| 2 | 664.3 | 19.6 | 110 | 24.3 |
| 3 | 933.4 | 27.6 | 90 | 19.9 |
| 4 | 1,635.8 | 48.3 | 36 | 7.9 |
| Total | 3,386.4 | 100 | 453 | 100 |

결 론

국립산림과학원에서 개발한 산사태 판정표를 기반으로 산사태 위험도를 판정하기 위한 GIS 응용모델을 개발하였다. 이 모델은 경사도, 경사위치, 경사길이, 사면형태, 임상, 모암, 토심 등의 분석을 자동화하여 산사태 발생 위험도를 분석할 수 있다. 또한, 과거 산사태 발생기록 등 산사태 발생지 관리를 위한 체계를 포함하여 산사태 판정 및 산사태 기록관리가 가능한 체계로 개발하였다.

모델의 적용가능성을 평가하기 위하여 경기도 용인·안성 일부 지역에 대해 이 모델을 적용하였다. 검토 결과 이러한 GIS 응용모델을 이용하면 공간자료의 처리와 분석 등을 자동화함으로써 대단위 면적의 산림에 대한 산사태 위험도를 매우 효율적으로 평가할 수 있었다.

다만 이 연구를 통해 개발된 산사태 위험도 판정 모델은 산림과학원에서 제시한 분석체계를 그대로 적용하고 있고, 또한 대부분의 분석 자료는 도면을 통해 취득하기 때문에 그 정확도에 다소의 문제가 있을 수도 있다. 그것은 수치도면의 정확도에 따른 문제, 혹은 산사태와 관련하여 마련된 기존의 위험도 판정방식을 개선할 여지가 있는지 등에 대한 문제가 아직까지 정확하게 밝혀진 바가 없기 때문이다.

따라서 분석의 정확도를 높이기 위한 목적으로 향후의 연구에서 반복적인 사례연구 등을 통해 각 인자별 상대적 중요도나 상호관계에 따라 영향을 받을 수 있는 산사태 위험도에 대한 연구를 지속적으로 수행할 필요가 있을 것이다. 이러한 과정을 통해 다양한 입지적 특성을 보이는 산림지역을 보다 정확하게 해석함으로써 산사태 위험도를 평가하기 위한 기능이 증진될 것으로 보기 때문이다. **키워드**

참고문헌

- 곽재하. 1994. 항공사진의 지형공간정보를 이용한 산사태 위험 예측기법. 부산대학교 대학원 석사학위논문. 52쪽.
- 김윤원. 1990. 우리나라 강우 특성으로 인한 산사태에 관한 연구. 중앙대학교 대학원 석사학위논문. 76쪽.
- 마호섭. 1994. 산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화 방안. 한국임학회지 83(2):175-190.
- 백한기. 1995. 부산지역의 산사태와 강우특성에 관한 연구. 중앙대학교 대학원 석사학위논문. 102쪽.
- 신은선. 1993. 지리정보시스템(GIS)을 이용한 보령·서천지역의 산사태 분석. 충남대학교 대학원 석사학위논문. 66쪽.
- 원종석. 1996. 원격탐사와 지구정보시스템(GIS)을 이용한 이천분지의 사면안정평가. 연세대학교 대학원 석사학위논문. 62쪽.
- 용계숙. 1999. 수치고도모델을 이용한 공주북부 지역의 지형 및 산사태 분석 연구. 공주대학교 대학원 석사학위논문. 50쪽.
- 이사로. 1993. 지리정보시스템(GIS)을 이용한 청주지역의 광역적 산사태 분석 연구. 연세대학교 대학원 석사학위논문. 61쪽.
- 이인모, 임충모 박경호 서정복. 1992. 산사태위험도 추정을 위한 간극수압예측에 관한 연구(III) - 모델 매개변수 분석 -. 한국지반공학회지8(4):41-49.
- 임업연구원. 1999. 개발제한구역 제도개선을 위한 환경평가기준연구(II) 중 산사태위험도 최종보고서.
- 정주상, 이병두, 이승기. 2002. 산사태 예측을 위한 산지사면 입지해석모델의 개발. 한국임학회지 91(1):34-41.
- 최 경. 1986. 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문. 110쪽.
- 한대식, 이사로, 김경수, 최영섭, 유일현. 1998. GIS를 이용한 한국 동남부지역의 상대적 사면안정성 분류도 작성. 한국GIS학회지 6(1):25-33.
- 홍원표, 한중근, 김상규, 김마리아, 김윤원. 1990. 강우로 기인되는 우리나라 사면활동의 예측.

- 대한토질공학회지 6(2):55-63.
- Jenson S.K. and J.O. Domingue. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54(11):1593-1600.
- Tarboton D.G., R.L. Bras and I. Rodriguez-Iturbe. 1991. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrological Processes* 5:81-100.
- Zevenbergen, L.W. and C.R. Thorne. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Process and Landforms* 12:47-56. 