

기상과 지형자료를 통합한 산사태 위험지 예측 기법 개발 -울진지역을 대상으로-

조명희¹ · 조윤원^{1*}

Developing Forecast Technique of Landslide Hazard Area by Integrating Meteorological Observation Data and Topographical Data -A Case Study of Uljin Area-

Myung-Hee JO¹ · Yun-Won JO^{1*}

요 약

최근 대규모 산사태, 산불등과 같은 산림재해로 인한 산림환경 훼손은 산림 농가 피해뿐만 아니라 산림생태계에도 매우 나쁜 영향을 미치고 있으며 사회적으로도 매우 민감한 환경문제로서 국민의 주요 관심사가 되고 있다. 본 연구에서는 현재 국내 여건에서 활용할 수 있는 다양한 지형 GIS 자료와 위성영상자료에 기반을 둔 주제도뿐만 아니라 산사태 발생에 가장 큰 영향을 주는 강우량 자료를 고려하여 산사태 발생 위험지를 예측하고자 하였다. 울진지역을 대상으로 지형자료와 기상 자료를 활용하여 주제도를 작성하고 GIS 중첩분석을 통하여 평가기준을 검토 한 후 산사태 발생 가능 위험지역의 분포도를 작성하였다. 아울러 고해상 위성영상 자료에서 획득한 산사태 피해 지역과의 가시적 비교를 통하여 산사태 발생 위험지 예측 방법 기술을 확보 하였다.

주요어 : 지리정보시스템, 위성영상, 산사태, 기상자료, 지형자료

ABSTRACT

Recently the large scale of forest disaster such as landslide and forest fire gives a very bad impact on not only forest ecosystem but also farm business so that it has become the main issue of environmental problems. In this study, the landslide hazard area forecast method was developed by considering not only the topographic thematic maps based on GIS and satellite images but also amount of rainfall data, which are very important factors of landslide. Uljin-gun was selected as the study area and the GIS weight score and overlay analysis were

2009년 1월 29일 접수 Received on January 29, 2009 / 2009년 5월 18일 수정 Revised on May 18, 2009 / 2009년 5월 30일 심사완료
Accepted on May 30, 2009

¹ 경일대학교 위성정보공학과 Dept. of Geo-satellite Information Engineering, Kyungil University

* 연락처 E-mail : sorabol00@hanmail.net

applied to topographical map and meteorological observation map. Finally the landslide area distribution map was constructed by considering the evaluation criteria. Also, the accuracy could be acquired by comparing the landslide hazard area forecast map and real damaged area extracted from satellite image.

KEYWORDS : *GIS(Geographic Information System), Satellite Imagery, Landslide Meteorological Observation Data, Topographical Data*

서 론

우리나라의 산림은 전 국토의 65%를 차지하는 문화·휴양 공간이며 중요한 국토 경관 자원 및 생태·관광의 자원이다. 그러나 최근 산사태나 산불 등과 같은 산림재해 발생은 사회적으로 매우 민감한 문제를 제기하며 국민의 주요 관심사가 되고 있다. 더욱이 대규모의 산림재해는 생태계를 교란시켜 산림환경을 훼손할 뿐만 아니라 산림 농가에도 막대한 피해를 주고 있다.

특히 산림재해로 인해 수반되는 피해지역 복구의 2차적 활동은 대규모의 산림재해일수록 그 경제적인 피해 또한 증가한다. 따라서 산림지역을 주기적으로 관측하여 수목의 상태와 위치를 파악하고, 산림 수종구분 및 식생 변화 탐지를 수행하여, 식생 자원을 관리하고 병해충 분포 등의 정보를 관리하는 것은 매우 중요하다.

이러한 상황에서 대규모 산사태, 산불, 산림 병해충 등의 산림 재해지역을 신속하고 정확하게 파악하여 피해를 예측할 수 있는 과학적인 산림방재 전략 수립을 위해서는 산림지역의 지형공간과 산림 특성조사를 분석하여 효율적인 의사결정을 지원할 수 있는 원격탐사와 GIS의 활용은 매우 중요하다.

국내에서는 공간정보기술을 활용한 산사태 관련 연구로 산사태 발생에 영향을 주는 여러 가지 지형요소(GIS 주제도) 및 위성영상자료를 이용한 산사태 예측기법 개발이 주로 이루어져왔다. 그러나 산사태 발생에 가장 큰 영

향을 미치는 자연 환경적 요소인 강우량을 고려한 산사태 예측기법 개발 연구는 매우 미진한 실정이다. 뿐만 아니라 산사태 예측 결과와 산사태 발생 현장 자료와의 비교 분석을 통한 정확도 검증에 있어서 많은 시간 공간적 제약이 따르고 있는 것이 현실이다.

본 연구에서는 국내 여건에서 활용할 수 있는 여러 가지 지형 GIS 자료와 위성영상자료를 기반으로 작성 가능한 주제도를 이용하며 산사태 발생에 가장 큰 영향 인자임에도 불구하고 분석대상으로 포함하기 힘들었던 강우량에 대한 정보를 고려하여 산사태 발생 위험지를 예측하고자 하였다.

이를 위하여 연구 대상지인 울진지역을 대상으로 산사태를 예측하기 위하여 지형자료와 기상자료를 활용하여 주제도를 작성하고 GIS 중첩분석을 통하여 평가기준을 검토 한 후 산사태 발생 가능 위험지의 분포도를 작성하였다. 아울러 고해상 위성영상 자료에서 획득한 실제 산사태 피해 지역과 본 연구에서 예측된 산사태 발생 위험지와 위치를 비교하였다.

선행 연구 사례

국내에서는 GIS 및 위성영상을 활용하여 연차적으로 산사태 취약성 분석, 예측지역 분석 및 예측도 작성, 위험지역분석 등에 관한 연구가 수행된바 있다.

이사로 등(2001)등은 다목적 실용위성의 지상 활용과 보정 및 검정에 대해 연구를 통하여 산사태 감시 및 예측을 위한 GIS 기반 공간자료 통합 기술 개발과 산사태 재해정보 시

시스템 설계에 대한 연구를 수행한 바 있다. 이진덕 등(2002)등은 구미시를 대상으로 GIS를 이용한 광역적인 산사태 지역을 분석하기 위하여 자연환경과 인문환경 인자들과 관련된 평가기준을 검토한 후 산사태 발생 가능지 예측을 위한 GIS 활용 가능성을 마련한바 있다. 김경태 등(2005) 등은 GIS와 원격탐사기법을 활용하여 금호강 유역을 대상으로 산사태 발생에 있어 지형영향인자인 경사도, 사면방향, 지질과, 토지이용도, 식생지수 등을 이용하여 산사태 취약성 평가를 정량적으로 수행한바 있다.

소방방재청과 국립방재연구소는 기술적 측면의 연구보다는 국가적 방재차원의 재해대책 수립 연구에 초점을 두고 있고(소방방재청, 국립방재연구소, 2006), 국립산림과학원은 산림자원 보존차원에서 산사태 조사연구를 수행하면서, 최근 계곡부를 중심으로 토석류 산사태에 대한

연구를 수행하고 있다(국립산림과학원, 2007).

산림청에서는 산사태 재해의 예방과 산림훼손지의 자연친화적 복구·녹화기술 개발 연구를 수행하면서 GIS를 이용한 산사태 위험지도 작성을 일부 수행하였으며(산림청, 2006), 한국지질자원연구원에서는 지질재해 관측 및 방지 기술 개발 사업을 통해 국가규모의 체계적인 산사태 재해 관련 연구 수행과 산사태 재해 평가기술 및 산사태 재해 예측기술 개발을 위해 주력하고 있다(산업자원부, 2008). 표 1은 한국지질자원연구원, 한국건설기술연구원, 국립산림과학원, 국립방재연구소, 국토해양부 국토관리청, 한국도로공사, 소방방재청의 산사태 관련 업무분야를 나타내고 있다.

미국의 지질조사국(USGS)의 국립 산사태 정보센터(NLIC)에서는 미국 전역을 대상으로 광역적인 산사태 취약성을 평가하여 이를 지도화 하였고, 세부기술개발 단계로 산사태 발

TABLE 1. 국내의 산사태 연구기관과 관련 업무

| 구 분 | 연구 수행 분야 | 비 고 |
|----------------|---|---|
| 한국지질자원연구원 | 산사태 및 절취사면 | 산사태 발생예측 및 위험도산정(QRA) 기술, 토석류 산사태 모니터링 기술 개발, 도시사면 관리시스템 개발, 유연성의 원리를 이용한 피해저감공법 적용 |
| 한국건설기술연구원 | 일반국도 절취사면의 안정성 해석 및 대책과 유지관리시스템 개발 | 일반국도의 보강대상 사면에 대한 투자우선 순위를 결정하여 국도유지사무소에 정보제공 |
| 국립산림과학원 | 산사태 재해의 예지 및 예방과 산림훼손지의 자연친화적 복구녹화기술개발 | GIS를 이용한 산사태 위험지도 작성 일부 수행 |
| 국립방재연구소 | 산사태 등의 지반재해에 대한 국가적 차원의 종합대책 수립 | 산불로 인한 사면붕괴조사, 산사태의 현장조사기법, 안정성 해석방법에 대한 기본적 연구 수행 |
| 국토해양부 국토관리청 | 일반국도의 유지보수사업계획 수립 총괄 | 한국건설기술연구원의 연구결과로부터 얻어진 위험사면에 대한 투자우선 순위에 따라 절취사면에 대한 보강실시 |
| 한국도로공사 | 고속도로 구간 절취사면의 구배결정 기준확립 및 유지·관리시스템 구축 | 암석특성에 따른 절취사면 구배결정 기준 및 암절토부 녹화방법 연구 |
| 소방방재청 | 산사태 및 사면붕괴를 포함한 국제 자연재해 전반에 대한 대책, 복구 등을 총괄 | ‘급경사지 안전관리 및 재해저감에 관한 법률’ 제정 중 |

(한국지질자원연구원, 2008)

생 가능지역을 상시 감시하고 산사태에 대한 조기 경보 체제를 구축하고 있다. 또한 연방재난관리국(FEMA)에서는 산사태로 인한 피해예측 및 효율적인 재난 방지를 위한 의사결정지원에 GIS기반 프로그램인 Response Resources and Substantiality를 개발하고 자료의 효율적 관리와 제공을 위해 지도제작분석센터(MAC GIS)를 운영하고 있다.

캐나다 지질조사국(GSC)에서는 지구과학자료, GIS 자료, 위성영상 등의 공간정보를 체계적으로 구축하여 산사태 예측, 위험성 평가, 피해저감대책 마련 연구를 진행하고 있다. 일본의 경우 지진 호우에 의한 고속 산사태 유동성붕괴의 발생과 운동메커니즘을 규명하고, 산사태 위험도를 작성하기위한 시스템 개발이 수행되고 있다. 홍콩은 1995년부터 24조원의

TABLE 2. 국외의 산사태 연구기관과 관련 업무

| 국가명 | 기관명 | 기간 | 연구 수행 분야 |
|-----|---------------------|-----------|---|
| 미국 | 미국 지질조사국 (USGS) | 1990~현재 | <ul style="list-style-type: none"> - 재해정보 네트워크 구축(DIN) 프로그램 · 지질재해 정보 네트워크구축 · 지질재해 조기정보 체제 구축 - 산사태 재해(LHA) 프로그램 · 산사태 재해 평가 연구 · 실시간 산사태 모니터링 연구 · 산사태 예측 기법 및 예측체제 확립 · 미국 전역의 산사태 재해 대응체제 구축 연구 - 산사태 피해저감공법 연구 · 실물모형실험을 통한 다양한 방호시스템 효능 검증 · 토석류 산사태 방지를 위한 최적의 시스템 개발 및 적용 · 토석류 위험평가기술의 현황과악 및 방호시스템 개발 (미국해양대기관리처(NOAA)와 공동수행) |
| 캐나다 | 캐나다 지질 조사국 (GSC) | 1994~현재 | <ul style="list-style-type: none"> - 지질재해 및 지질환경(GHEG) 프로그램 · 자연재해 종합 프로그램 · 주요산맥 지질재해 연구 · 캐나다 동부 산사태 연구 · 산사태 발생 예측 연구 · 영구동토재해연구 |
| 홍콩 | 홍콩자치 정부 (CED/GEO) | 1995~2010 | <ul style="list-style-type: none"> - 산사태 방지대책(LPM) 프로그램 · 홍콩 전역 사면분포 현황·조사 · 산사태 위험등급도 작성 · 주요 사면에 대한 산사태 상시 감시 및 사후 관리 · 분기별 사면조사 보고서 작성 및 DB 구축 |
| 일본 | 방재과학 기술연구소 (NIED) | 1963~현재 | <ul style="list-style-type: none"> - 종합방재 관련연구 · 방재기반 과학기술연구 · 설해방재 관련연구 · 방재연구정보센터 |
| | 교토대 방재연구소 (DPR) | 1951~현재 | <ul style="list-style-type: none"> · 종합방재연구 · 지반재해연구 · 수재해연구 |
| 호주 | 호주 지질조사국 AGSO) | 1997~현재 | <ul style="list-style-type: none"> - 도시지역 자연재해 취약성평가 과제(NGVUC) · 도시주변 산사태 위험도 평가 연구 · 호주 전역 산사태 DB 구축 연구 |
| 스위스 | 스위스연방 연구소 (WSL_SLF) | 2005~현재 | <ul style="list-style-type: none"> - 유연성 방호시스템의 수치해석 연구 · 유연성 방호시스템과 산사태의 상호작용 연구 · 토석류 방호시스템을 위한 수치해석 프로그램 개발 |

(한국지질자원연구원, 2008)

예산으로 국가차원에서 ‘산사태 방지 대책 계획’을 실시하고 있으며, 2010년까지 2,500개의 정부소유 사면과 3,000개의 개인소유 사면에 대한 연구를 수행할 계획에 있다(한국지질자원연구원, 2008). 표 2는 현재 미국, 캐나다, 홍콩, 일본, 호주, 스위스에서 수행되고 산사태 연구기관과 관련 업무현황을 보여주고 있다.

그러나 이러한 선행연구의 대부분은 산사태 발생요소 중 지형적 요소만을 고려하여 이루어진 경우가 대부분이며 산사태 발생에 가장 큰 영향을 미치는 강우량 등 자연 환경적 요소를 고려한 연구 수행은 미비한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 선행연구를 기반으로 기존에 분석대상으로 포함하기 힘들었던 강우량에 대한 정보를 고려하여 산사태 발생 위험지를 예측하고자 하였다.

연구 방법 및 자료

본 연구에서는 산사태 발생 위험도 중첩분석을 위하여 아래 그림 1과 같이 다양한 주제도를 제작하였으며 ArcGIS 8.1 S/W 이용하여 수치지형도(1:25,000)의 등고선 레이어로부터 생성된 DEM자료를 기반으로 사면방향을 추출하고 정밀 수치 토양도(1:25,000)에서 경사도와 침식 유무지역을 획득하였으며 수치 지질도(1:50,000)에서 상대적으로 산사태에 취약한 암석이 분포하고 있는 지역을 파악하였다.

기상자료로는 울진군 읍면별 강우량을 사용하였으며, 이를 토대로 강우량 분포도를 작성하였다. 또한 Landsat ETM+ 근적외영상과 적외영상을 ERDARS Imagine 8.6을 이용하여 식생지수 분포도 제작에 활용하였다. 작성된 이들 주제도를 토대로 중첩분석을 수행하여 산사태 발생 가능 위험지역 분포도를 제작하였다. 마지막으로 산사태 발생 위험지역 분포도의 위치 정확성 확보를 위하여 IKONOS 위성영상의 RPC파일을 이용하여 정사보정을 실시하였다.



FIGURE 1. 연구 수행 방법

기상과 지형자료를 이용한 산사태 위험지 예측 기법 개발

1. 산사태 위험지역 추출을 위한 GIS DB 분석

1.1 사면방향과 지질도 분석

남쪽사면이 다른 사면에 비하여 풍화정도가 크기 때문에 남향 사면에서 산사태 발생빈도가 상대적으로 가장 큰 것으로 알려져 있으며 국내 문헌에도 사면이 남쪽이나 남동방향일때 높은 발생률을 보이는 것으로 분석된 바 있다(이진덕, 2002). 특히, 일조시간 차이에 따른 사면방향은 수분 보유력, 식생 및 풍화정도의 차이를 유발하여 토양의 응집력과 안정성에 영향을 미친다.

본 연구에서는 산사태 발생 위험지 분포도 작성을 위한 인자들 중 하나인 사면방향을 추출하기 위하여 수치지형도(1:25,000)에서 등고선을 이용하여 TIN 모델을 생성한 후 그리드 형태(10m×10m)의 수치고도모델(DEM)을 구축한 후 8개의 사면방향을 정의하였다.

TABLE 3. 방위각에 따른 사면방향 정의

| 방위각(A) | 337.5<A ≥22.5 | 22.5<A ≥67.5 | 67.5<A ≥112.5 | 112.5<A ≥157.5 | 157.5<A ≥202.5 | 202.5<A ≥247.5 | 247.5<A ≥292.5 | 292.5<A ≥337.5 |
|--------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 사면방향 | 북사면 | 북동사면 | 동사면 | 남동사면 | 남사면 | 남서사면 | 서사면 | 북서사면 |

암석을 구성하는 물질은 생성과정이나 지질 시대를 거치는 동안에 변성작용 등에 의하여 서로 다른 토층과 풍화대를 가지게 되므로 산사태 발생조건이 동일한 지역일지라도 암석을 구성하는 지질조건이 다를 경우 산사태 특성도 다르게 나타난다. 우리나라에 분포하는 암석은 변성암, 화성암, 그리고 한반도의 동남부에 분포하는 퇴적암 및 화산암으로 크게 분류할 수 있는데 퇴적암의 경우 단위면적당 산사태 발생빈도가 화성암이나 변성암에 비해 낮다. 이는 화성암과 변성암은 생성시기가 오래 될수록 풍화정도가 깊어 산사태 발생빈도가 높은 반면 퇴적암은 고화정도가 커서 산사태 발생빈도가 상대적으로 낮기 때문이라 알려져 있다(김경태, 2005).

본 연구에서는 수치지질도(1:50,000)를 활용하여 울진지역의 암석을 분석해 본 결과 상대적으로 다른 암석에 비하여 산사태 발생 가능성이 높은 흑운모 화강편마암, 흑운모 화강암, 변성 퇴적암, 세일 등이 추출되었다.

1.2 토양도와 식생활력 분석

일반적으로 토양 침식에 의해 야기되는 토양 유실은 상부토층의 안정성을 저해한다. 1:25,000 축척의 정밀 토양도에 포함된 항목은 표토의 자갈함량, 토성, 침식정도, 경사, 심토의 석력함량, 심토의 토성, 유효토심, 배수등급, 지형, 토지이용 등이 있다. 본 연구에서는 산사태 발생 위험지역 분포도 작성을 위한 인자들 중 토양의 침식 유무에 대한 정보를 추출하기 위하여 정밀 토양도를 활용하였다.

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 식물의 활력도와 녹지 피복에 따른 가시광선 및 근적외선 파장대 광선의 반사량

차이를 이용하여 지표 식생의 유무와 상태를 수치로 표현한 식생지수의 상대적인 값으로 최소 -1에서 최대 1까지의 범위 값을 가진다. 식생활력이 높을수록 지면에 대한 강우의 충격이 완화되고 나무의 많은 뿌리는 토양의 전단강도를 증가시키므로 NDVI는 산사태와 밀접한 관련성이 있는 것으로 판단하여 Landsat ETM+에 단순 연산식을 적용하여 식생활력도를 작성하였다.

이는 식생활력이 낮은 지역에서 산사태가 일어날 확률이 높은 것을 의미하며 본 연구에서는 NDVI 값이 0.05 이상인 산림지역을 대상으로 산사태 발생 위험지 예측에 이용하였다.

1.3 경사도와 강우량 자료 분석

국내의 산사면에서 발생하는 산사태는 오랫동안 풍화작용을 받은 흩과 암석편이 흘러내리는 토석류가 90%이상을 차지한다(한국자원연구소, 2000). 토석류와 같은 산사태에 가장 큰 영향을 미치는 사면경사는 연구대상지내의 산림지역 전체 평균 경사도(12°) 보다 높은 지역을 상대적으로 산사태 발생 확률이 높은 지역으로 가정하고 이를 추출 하였다. 본 연구의 경사도는 수치지형도의 등고선 자료를 이용하여 DEM을 생성하여 오차 제거와 수정을 수행하였고 이를 기반으로 10m×10m의 GRID 데이터를 작성하여 사면경사(Slope)를 생성하였다.

산사태의 직접적인 발생 원인으로 연속 강우량 및 시간 당 강우량이 높은 집중호우로 인한 지하수위의 변화이다. 본 연구에서는 표 4는 울진구의 2001년 1월부터 2005년 9월까지의 읍면별 강우량이며, 이는 집중호우가 발생하는 6월부터 9월까지의 강우량만 포함한다.

TABLE 4. 울진군의 읍면별 강우량과 평균, 분산, 표준편차

| 일자 | 울진읍 | 평해읍 | 북면 | 서면 | 근남면 | 원남면 | 기성면 | 온정면 | 죽변면 | 후포면 | 평균 |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-----|
| 2001.6 | 78.5 | 155.5 | 118.5 | 171.5 | 158.5 | 152 | 155.5 | 140.5 | 100 | 193 | 142 |
| 2001.7 | 62.5 | 56.5 | 117 | 140.5 | 57.5 | 51.5 | 81.5 | 68 | 84 | 60.5 | 78 |
| 2001.8 | 22.5 | 39.5 | 33.5 | 50.5 | 32.5 | 28 | 30 | 38 | 19 | 78 | 37 |
| 2001.9 | 285 | 206.5 | 220 | 229 | 277.5 | 297.5 | 328.5 | 229.5 | 161 | 275 | 251 |
| 2002.6 | 28 | 11 | 37 | 36 | 11 | 11 | 7 | 13.5 | 30 | 4 | 19 |
| 2002.7 | 215.5 | 176 | 258 | 240.5 | 256 | 259.5 | 193 | 278 | 423 | 192.5 | 249 |
| 2002.8 | 563.5 | 551.5 | 549 | 676 | 621 | 584 | 517.5 | 488 | 478 | 545.5 | 557 |
| 2002.9 | 58.5 | 39 | 60 | 53.5 | 66 | 53.5 | 53.5 | 41.5 | 43 | 63 | 53 |
| 2003.6 | 177.5 | 260 | 188 | 220.5 | 194.5 | 188 | 218 | 181.9 | 365 | 249 | 224 |
| 2003.7 | 285 | 425 | 288 | 411.2 | 333 | 324.5 | 342.5 | 288 | 363.5 | 384.5 | 345 |
| 2003.8 | 351 | 335 | 303 | 454 | 349.5 | 324.5 | 339.5 | 265 | 293.5 | 310 | 333 |
| 2003.9 | 406.5 | 343 | 401 | 575.5 | 403.5 | 335.5 | 316 | 324.5 | 412 | 276 | 379 |
| 2004.6 | 252.5 | 336 | 282 | 287 | 260 | 251.5 | 316 | 279 | 264 | 350.5 | 288 |
| 2004.7 | 234.5 | 195 | 316 | 294.5 | 261 | 246.5 | 166 | 210.5 | 234 | 201.5 | 236 |
| 2004.8 | 414.5 | 419.5 | 390.5 | 517 | 442.5 | 421.5 | 429.5 | 404.5 | 467 | 316.5 | 422 |
| 2004.9 | 212 | 233 | 185.5 | 226.5 | 234 | 231.5 | 227.5 | 201 | 208.5 | 185.5 | 215 |
| 2005.6 | 105 | 79 | 81.5 | 146 | 108 | 124.5 | 79 | 87 | 102.5 | 100 | 101 |
| 2005.7 | 268.5 | 254.5 | 213.5 | 266 | 288.5 | 291 | 232 | 267.5 | 231.5 | 229.5 | 254 |
| 2005.8 | 177 | 227.5 | 180 | 173.5 | 206 | 260.5 | 218.5 | 275 | 179 | 227 | 212 |
| 2005.9 | 469 | 408.5 | 473.5 | 377.5 | 434 | 413.5 | 391 | 449.5 | 483 | 303.5 | 420 |
| 평균 | 233 | 237 | 234 | 277 | 249 | 242 | 232 | 226 | 247 | 227 | 241 |
| $(X_i - \bar{X})$ | -7.47 | -3.25 | -6.04 | 36.52 | 8.91 | 1.68 | -8.72 | -14.30 | 6.26 | -13.57 | |
| 분산 | 13.95 | 2.63 | 9.14 | 333.34 | 19.82 | 0.71 | 19.01 | 51.12 | 9.78 | 46.04 | |
| 표준편차 | 2.49 | 1.08 | 2.01 | 12.17 | 2.97 | 0.56 | 2.91 | 4.77 | 2.09 | 4.52 | |

본 연구에서는 표 4의 자료를 기초로 10개의 읍면별 월별 강우량을 기준으로 강우량 산술평균값을 구한 후 표준편차 값을 구하였다.

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

X_i : 읍면별 강우량 평균변량, \bar{X} : 강우량 합계에 대한 평균값, $n - 1$: 읍면의 수
 전체적인 강우량 평균에 대한 표준편차가 클수록 평균값에서 멀어지는 것을 말하며,

표준편차 S 가 클수록 평균 강우량이 높은 것을 의미한다. 하지만 \bar{X} 의 값(전체 읍면별 평균 강우량에 대한 평균값과의 차이)이 음수인 읍면은 전체 울진군 평균 강우량 보다 낮은 강우량을 나타내는 것을 말한다. 이는 울진군 10개의 읍면중 산사태 발생 확률이 상대적으로 낮은 것을 의미하므로 표준편차 값에서 제외시켰다. 그림 2에서 보는 바와 같이 표준편차 값이 중심에서 멀어 질수록 평균 강우량이 높으며 서면지역이 가장 큰 평균 강우량을 나타내고 있었으며 다음으로 근남면, 죽변면순으로 나타났다.

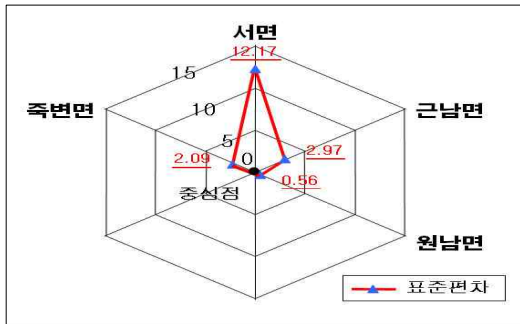


FIGURE 2. 울진군의 읍면별 강우량의 표준편차 분포

2. GIS와 RS을 이용한 산사태 발생 위험지역 분포도 작성

대부분의 산사태는 집중호우에 의하여 발생하며 지진, 천동·폭발에 의해 일어나기도 한다.

또한 경사가 급한 지역일수록 일어날 수 있는 확률이 높으며, 지형·지질적으로 지하수가 많이 모여 있는 곳에서 일어나기 쉽다. 또한 화강암이나 집괴암처럼 풍화되기 쉬운 암석은 지표에서 깊은 곳까지 풍화되어 암석 입자의 고결도가 작아짐과 동시에 풍화토가 두껍게 생성되며, 빗물이 다량으로 침투하면 풍화층과 그 아래의 새로운 암석면 사이에 경계가 생겨 안정을 잃고 그 상부가 갑자기 무너지게 된다 (김경태, 2005).

이러한 연구 결과들을 만족하는 관련 GIS 및 RS 자료들을 그림 3에서처럼 중첩 분석하였으며 표 5에서처럼 연구지역내에서 상대적으로 산사태 발생 위험 가능성이 높은 지역을 추출 하였다.

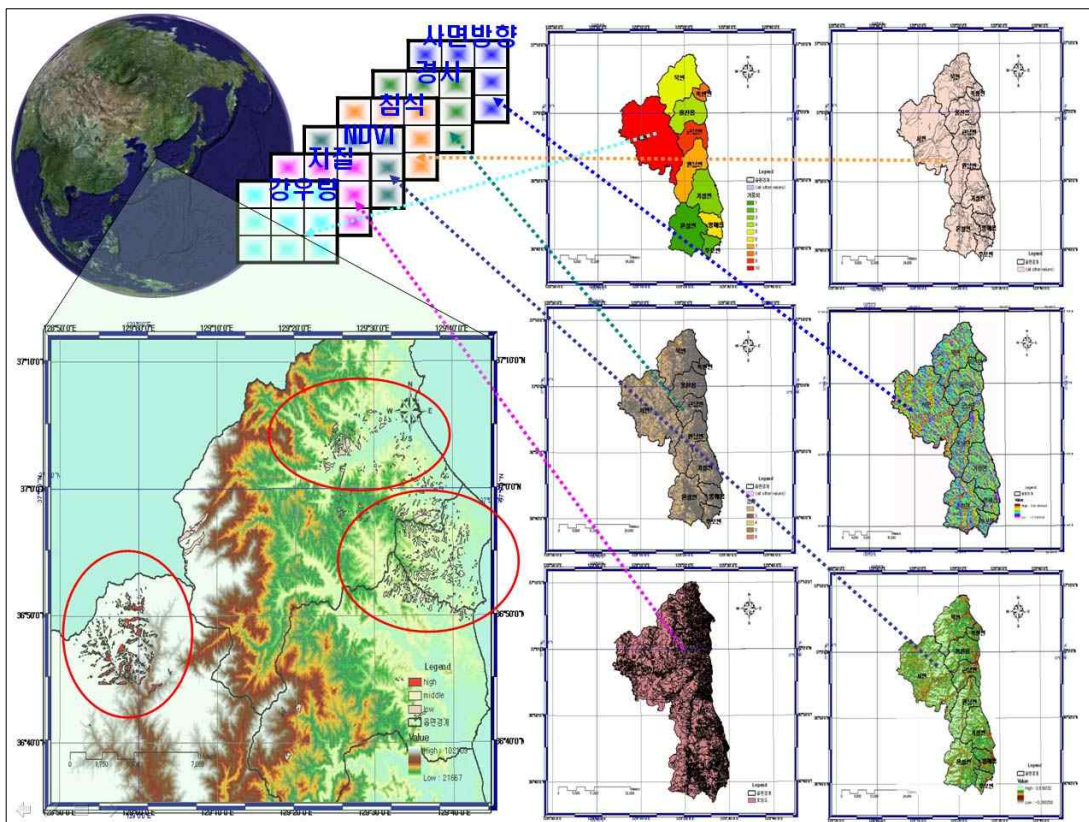


FIGURE 3. 울진군 지역의 산사태발생 위험지역 추출

TABLE 5. 산사태 발생 위험지

| 구분 | 식생지수가 낮은 지역 | 평균 강우량이 높은 지역 | 산사태 발생 가능성이 높은 지질 | 경사도 | 침식 유무 | 사면방향 |
|----|----------------------|---------------|-----------------------------|-------|-------|---------|
| 조건 | 0.005 이상 0.202 미만 | 서면 | 흑운모화강암, 흑운모화강편마암, 변성퇴적암, 세일 | 12°이상 | 침식 지역 | 남, 남동사면 |

3. 결과 검증 및 분석

본 연구에서 산사태 발생 위험지 예측에 대한 정확도 검증을 위하여 과거 산사태가 발생한 지역의 위성영상 자료를 입수하여 산사태 발생 위험지 분포도와 위성영상 자료와의 중첩분석을 수행하였다.

본 연구에서는 위성의 자세, 지표면의 형상 등에 의해 발생하는 각종 왜곡을 제거하기 위해 하천, 기호, 도로, 등고선, 임상도, 지류 등 다양한 주제도를 활용하여 기하보정을 수행하였다.

실제 지형지물과의 위치관계 파악 및 수정을 위하여 수치표고모델(DEM)과 위성촬영 당시의 경도, 위도, 높이의 3차원 요소를 위성영상의 Line과 Sample의 관계식으로 해석한 표정요소에 필요한 정보 RPC(Rational Polynomial Coefficient) 파일을 이용하였다. 그림 4는 위성영상자료를 이용하여 정확한 산사태의 발생 위치를 파악하기 위한 위치보정 수행 작업을 나타내고 있다.

DEM 자료와 산사태 피해지가 촬영된 위성영상자료와 산사태 발생 위험지역 예측 분포도를

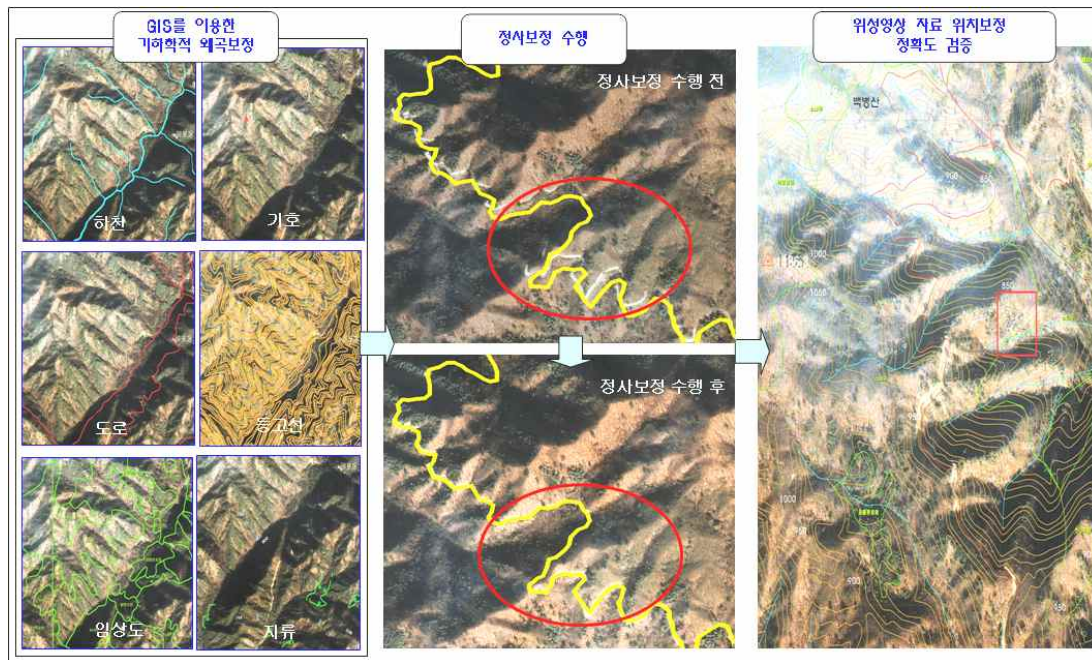


FIGURE 4. 위성영상자료의 위치정확도 향상을 위한 자료처리 수행

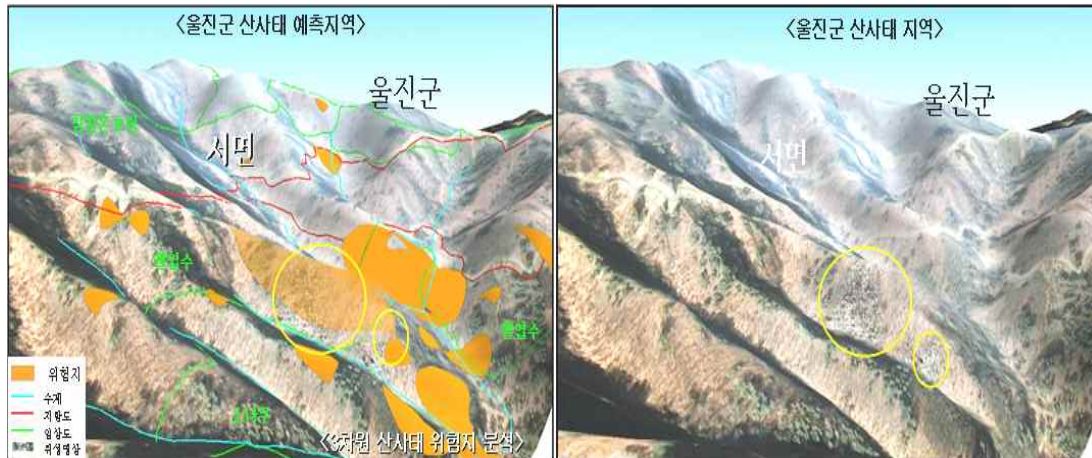


그림 5. 고해상 위성영상을 이용한 산사태발생지역과의 비교

중첩시켜 검증을 수행해본 결과 아래 그림 5에 서처럼 산사태가 발생한 지역과 산사태 발생 위험지역 분포도에서 작성된 산사태 발생 위험 가능지역의 일부가 일치하는 것을 알 수가 있었다.

결 론

본 연구는 현재 국내 여건에서 이용할 수 있는 여러 가지 지형관련 GIS 자료와 위성영상자료를 기반으로 접근 가능한 주제도뿐만 아니라 산사태 발생에 가장 큰 영향을 주는 기상자료(강우량 정보)를 이용하여 산사태 발생 위험지를 고려함으로써 보다 정확한 예측을 위한 분석인자에 대한 확보의 가능성을 보여주고 있다.

울진지역을 대상으로 산사태 발생 가능 지역을 예측하기 위하여 지형자료와 기상자료를 활용하여 관련 주제도를 작성하였고 GIS의 분석기법인 가중치분석과 중첩분석을 통하여 평가기준을 검토 한 후 산사태 발생 가능 위험지역의 분포도를 작성하였다. 그리고 고해상 위성영상 자료에서 획득한 산사태 피해 지역과의 위치비교를 통하여 가시적인 검증 수행하였으며 이를 통한 산사태 발생 위험지 예측 방법 기술을 확보 하고자 하였다.

그러나 우리나라의 강수는 여름에 크게 집중되며, 강수의 범위가 국지적이므로 정확한 위치 예측이 어렵다. 따라서 향후 USN 센서

등의 기술을 통해 실시간으로 주요 인자들을 수집할 수 있도록 이에 대한 기초 연구들이 수행되어야 할 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

- 국립산림과학원. 2007. 산림의 공익기능 계량화 연구. 국립산림과학원 연구보고서. 354쪽.
- 김경태, 정성관, 박경훈, 오정학. 2005. GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가. 한국지리정보학회지 8(1):75-87.
- 이진덕, 연상호등. 2002. 산사태의 발생 가능지 예측을 위한 GIS의 적용. 한국지리정보학회지 5(1):38-47.
- 이사로, 지광훈, 박노옥, 신진수. 2001. 산사태와 지형공간정보의 연관성 분석을 통한 장흥지역 산사태 취약성 분석. 자원환경지질 34(2):205-215.
- 산림청. 2006. 산림과 임업 동향에 관한 연차보고서. 616쪽.
- 소방방재청, 국립방재연구소. 2006. 원격탐사 자료의 재해분야 활용방안 연구. 소방방재청 국립방재연구소 연구보고서. 98쪽.
- 한국자원연구소. 2000. 산사태 예측 및 방지기술 연구. 289쪽.
- 산업자원부, 한국지질자원연구원. 2008. 산사태재해 예측 및 저감기술 개발. 566쪽. **KAGIS**