HyGIS-Landslide를 이용한 산사태 발생 위험도 평가

박정술¹ · 김경탁^{1*} · 최윤석¹

Landslide Risk Assessment Using HyGIS-Landslide

Jung-Sool PARK¹ · Kyung-Tak KIM^{1*} · Yun-Seok CHOI¹

요 약

최근 급증하고 있는 국지성 집중호우로 인해 급경사지를 중심으로 산지토사재해가 빈발하고 있으며 이에 대한 예방과 취약지역 분석을 위해 산사태 위험지도의 중요성이 부각되고 있다. 본 연구에서는 산지하천유역의 토사재해 위험지역 분석을 목적으로 수자원지리정보시스템 기반의 HyGIS-Landslide 컴포넌트를 개발하였다. HyGIS-Landslide는 산림청의 산사태 위험지 판정 기준 및 등급기준을 토대로 수치공간자료의 연산결과를 분류한 후 산사태 위험성을 제시하도록 설계되었으며 위험지 판정기준의 가중치를 사용자가 재 설정할 수 있도록 구현하여 산사태 발생 공간의 지역적 특성을 반영할 수 있도록 하였다. 본 컴포넌트에서는 사용자가 원하는 지역을 대상으로 현시성 있는 공간자료를 활용할 수 있으며 조사자의 점수보정 과정을 반영하여 시스템 활용성을 높이려 하였다. HyGIS-Landslide는 HyGIS가 제공하는 지형분석 기능을 통해 사용자 편의를 확보할 수 있으며 산사태 발생구역도와의 중첩연산을 통해 위험지 분류결과와 검증이 가능하다. 본 연구에서는 강원도 인제군의 시험유역을 대상으로 HyGIS-Landslide를 적용하였으며 산사태 맵핑결과와의 중첩비교를 통해 모형의 활용성을 평가하고 위험지 판정기준의 가중치를 재 조정하여 위험지역을 보다 효과적으로 분류할 수 있음을 제시하였다.

주요어 : 산사태, 수자원지리정보시스템, 산사태 위험지도, HyGIS-Landslide

ABSTRACT

Recently, forest soil sediment disasters resulting from locally concentrated heavy rainfall have been occurring frequently in steep slope areas. The importance of landslide hazard map is emerging to analyze landslide vulnerable areas. This study was carried out to develop HyGIS-Landslide based on Hydro Geographic Information System in order to analyze forest soil sediment disaster in the mountainous river basin. HyGIS-Landslide is one of HyGIS components designed by considering the landslide

2011년 11월 1일 접수 Received on November 1, 2011 / 2012년 2월 21일 수정 Revised on February 21, 2012
/ 2012년 3월 8일 심사완료 Accepted on March 8, 2012

1. 한국건설기술연구원 수자원연구실 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

* 연락저자 E-mail : ktkim1@kict.re.kr

hazard criteria of Korea Forest Service. It could show the distribution of landslide hazard areas after calculating the spatial data. In this system, the user could reset the weight of hazard criteria to reflect the regional characteristics of the landslide area. This component provided user interface that could make the latest spatial data available in the area of interest. HyGIS-Landslide could be applied to the surveyor's compensation score and it was possible to reflect the landslide risk exactly through it. Also, it could be used in topographic analysis techniques providing spatial analysis and making topographical parameters in HyGIS. Finally the accuracy could be acquired by calculating the landslide hazard grade map and landslide mapping data. This study applied HyGIS-Landslide at the Gangwon-do province sample site. As a result, HyGIS-Landslide could be applied to a decision support system searching for mountainous disaster risk region; it could be classified more effectively by re-weighting the landslide hazard criteria.

KEYWORDS : *Landslide, Hydro Geographic Information System, Landslide Hazard Map, HyGIS-Landslide*

서 론

여름철 빈번하게 발생하는 집중호우는 강우 강도 및 발생지역의 편차가 심한 특성을 갖고 있으며 강우에 의해 산지 하천유역에서 발생하는 토사재해 역시 좁은 지역에서 갑작스럽게 발생되므로 그 예측이 매우 어려운 실정이다. 2001년 이후 여름철 평균 강우량은 2000년 이전에 비해 21% 증가한 것으로 제시되고 있으며 이로 인한 산사태 발생면적 또한 2000년 이전 연평균 286ha에서 2001년 이후 771ha로 2.7배 증가하였다(이창우, 2010). 산사태로 인한 피해규모도 증가하고 있는 추세로 2006년 강원도 인제지역의 산사태는 9명의 인명피해와 2,570억원의 복구비가 소요되었으며 2011년 7월 서울과 수도권, 춘천일대에서 발생한 산사태로 사망 37명을 포함하여 총 70여명에 달하는 사상자가 발생하였다.

기상이변으로 간주되던 국지성 집중호우가 더 이상 이번이 아닌 기상현상이라 불려질만큼 빈번하게 발생되고 있는 시점에서 향후 산사태 발생 빈도는 더욱 증가할 것으로 예상되

며 이에 대비한 실효성있는 예경보 시스템이 요구되는 상황이다. 산사태에 대한 예경보 시스템이 효과적으로 운영되기 위해서는 강우 예측과 함께 산사태 위험지역에 대한 정확한 정보가 요구된다. 즉, 산사태 발생위험도를 파악하고 집중호우시 예보 결과에 따라 위험도가 높은 지역을 우선적으로 관리하는 효과적인 대처를 통해서만 산사태 예보제가 진정한 실효를 거둘 수 있으며(산림청, 2005) 이를 위해 선행되어야 할 과정은 산사태 위험지역을 분석하고 위험지역을 적절하게 분류하는 작업이라 할 수 있다.

2000년 이후 GIS를 이용한 산사태 위험지도 제작 및 위험지역 선정을 위한 분석시스템에 대한 개발이 지속적으로 수행되고 있으며 2006년 발생한 강원도 산사태 이후 이에 대한 연구는 더욱 증가추세에 있다. 이사로 등(2000)은 수치지도와 Landsat TM 위성영상을 이용하여 산사태 발생요인을 추출하고 이를 확률, 로지스틱 회귀모델, 인공신경망 기법으로 분석하고 이에 대한 정보 제공을 위해 산사태 공간 정보시스템을 개발하였다. 이승기 등(2005)은 산사태 예측을 위한 산지사면 입지해석 모듈을 이용하여 산지사면 분석을

실시하였으며 산림청 판정표를 기준으로 경기도 용인과 안성지역의 발생위험도를 예측하였다. 산림청에서는 1980년~1983년과 1990년~1992년에 걸쳐 전국적으로 발생한 산사태 511개소를 조사하여 다변량 해석기법을 적용하여 산사태 위험지 판정표를 작성하였으며(최경, 2001) 이를 바탕으로 2005년 전국 산사태 발생위험지도로 제작하였다. 또한 산사태 발생위험지도를 웹 기반으로 구축한 산사태 위험지 관리시스템을 구축하여 산사태 위험예보 정보를 제공하고 사방사업 관리 등에 활용하고 있다.

소방방재청(2009)은 GIS기반 산사태 위험분석 시스템을 개발하여 산사태 피해산정 및 DB관리, 통계학적 예측모델을 기반으로 한 위험지 추출 기법을 제공하고자 하였으며 박재국 등(2009)은 산사태 위험지도 제작을 위한 공간분석체계 및 위험지도 제작기술을 개발하고 강원도 지역을 대상으로 적용하였다. 조명희와 조운원(2009)과 윤홍식 등(2009)은 산사태 발생요인에 기상자료를 활용한 후 울진과 전국규모의 산사태 위험지도를 작성하였으며 배민기 등(2009)은 지역특성을 고려한 산사태 유발요인을 찾기 위해 경상북도의 산사태 발생지에 대한 다변량 분석을 실시한 후 지역에 특화된 붕괴위험도 판정기준표와 위험등급도를 제시하였다.

본 연구에서는 기 개발된 위험지 분석기술과 위험등급도를 검토한 후 산지하천 토사재해 위험지 파악을 위한 의사결정 지원을 목적으로 HyGIS(Hydro Geographic Information System) Landslide를 개발하였다. 수자원지리정보시스템인 HyGIS의 세부 모듈로 개발된 HyGIS-Landslide는 현시성 있는 공간자료의 활용이 가능하고 재해 위험지역 선정을 위한 다양한 편의 기능을 포함하고 있다. 본 연구에서는 2006년 7월 강원도 인제지역에서 발생한 산사태 발생구역을 대상으로 HyGIS-Landslide를 적용하고 분류정확도 및 활용성을 평가하고자 하였다.

산사태 위험지 판정인자 및 기준

HyGIS-Landslide에서는 산사태 위험지를 평가하는데 그림 1의 산림청 분류기준(최경, 2001)을 이용하였다. 산림청의 위험인자 평가표는 1997년에 작성되었으며 분석에 이용된 자료는 1980년~1983년, 1990년~1992년의 조사자료로 총 511개소의 발생사례 중 331개의 자료를 활용하여 다변량 해석기법으로 제작하였다(이창우, 2010). 산림청 위험지 판정표에서는 경사인자(경사길이, 경사위치, 사면형태, 경사도), 토심, 임상, 임상경급, 모암 등의 카테고리별로 가중치가 구분되어 있으며 각각의 주제도를 중첩연산 후 합산된 점수에 따라 표 1과 같이 산사태 위험도를 분류한다.

HyGIS-Landslide는 산림청 분류기준을 적용하되 각각의 인자별 가중치를 사용자가 재설정 할 수 있도록 시스템을 구현하였다. 즉, 카테고리별 점수합계가 34점~242점 범위에서 그림 1과 같이 사용자 가중치를 반영하되 경사길이, 경사위치, 토심, 경사도와 같이 속성이 연속형 자료로 이루어진 경우에는 카테고리 등급 기준도 재설정이 가능하며 모암, 임상, 사면형과 같이 속성이 주제도로 분류된 경우에는 속성에 따른 카테고리 점수만 재설정이 가능하도록 설계하였다.

산림청의 산사태 위험지 판정기준에 이용된 산사태 조사자료는 1980년대와 1990년대 사항으로 최근 발생하고 있는 산사태 특성을 반영하지 못하고 지역적 특성을 고려하지 않은 일관된 평가기준을 제시한다는 단점이 있다. 이와 같은 이유로 최근에는 지역적 특성을 고려한 산사태 유발요인에 대한 연구와 산사태 위험도의 새로운 분류기준이 제시되고 있다(정규원 등, 2008; 배민기 등, 2009). 그러나 이러한 기준들이 대표성을 갖고 활용되기에는 한계가 있으며 아직까지 산림청의 산사태 위험지 분류기준을 적용한 산사태 발생 위험지도가 광범위하게 활용되고 있음을 고려하여 본 연구에서는 산림청의 기준을 채택하되 사

인자	Category 별 점수				
	1	2	3	4	5
경사길이(m)	51 이하 0	51 ~ 100 19	101 ~ 200 36	201 이상 74	-
모암	토적암(미암, 할암, 석회암, 사암 등) 0	화성암(화성암류, 기타) 5	변성암(천매암, 점판암, 기타) 12	변성암(편마암류, 편암류) 19	화성암(반암류, 안산암류) 56
경사위치	0 ~ 4 / 10 0	5 ~ 6 / 10 9	7 ~ 10 / 10 26	-	-
임상	-활엽수림, 혼효림(소, 중, 대경목) 0	-침엽수림(치수림, 소경목), -무입목지 18	-침엽수림(중경목, 대경목), -활엽수림, 혼효림(치수림) 26	-	-
사면형	상승사면 0	평형사면 5	하강사면 12	복합사면 23	-
도심(cm)	20 이하 0	21 ~ 100 7	101 이상 21	-	-
경사도(°)	25 이하 0	26 ~ 40 9	41 이상 16	-	-
조사자의 점수보정	•보정인자 1. 조사자 또는 마을사람들이 산사태발생 위험지역이라고 생각함(+10) 2. 조사자 또는 마을사람들이 산사태발생 위험성이 전혀 없다고 생각함(-10) 3. 인위적 산림훼손지로 방치하거나 불안전한 방재 시설지(+20) 4. 과수원 및 초지단지, 유실수조림지 등 지피식생이 불완전한 산림(+20) 5. 산림이 도심지에 위치하여 산사태 발생시 피해 확산 위험이 있는 지역(+10)				
점수계	해당 카테고리별 점수를 합계한 점수(최대 242점, 최소 34점)				

초기화 수정

◎ 붕괴위험도 구분

발생가능성이 대단히 높은 지역(I등급): 181점 이상
 발생가능성이 높은 지역(II등급): 121~180점
 발생가능성이 있는 지역(III등급): 61~120점
 발생가능성이 없는 지역(IV등급): 60점 이하

※ 세부인자별 조사요령 등은 사망기술교본 244~246쪽 참조

FIGURE 1. HyGIS-Landslide의 위험지 판정기준

용자가 채택한 가중치를 반영하여 산사태 발생공간의 지역적 특성을 반영할 수 있도록 하였다.

HyGIS-Landslide의 개발

1. HyGIS와 HyGIS-Landslide

HyGIS(Hydro Geographic Information System)는 수자원의 다양한 분야에서 GIS를 손쉽게 활용하기 위해서 한국건설기술연구원에서 개발한 수자원 지리정보시스템이다. HyGIS는 GEOMania GIS를 기반으로 기존의 범용 GIS에 수자원 분야에서 필요로 하는 다양한 지표면 분석 기능과 공간 데이터 구축

TABLE 1. 산사태 붕괴위험도 구분 (최경, 2001)

구분	점수계	산사태 위험도
I등급	181점 이상	산사태 재해 위험성 최상(75% 이상)
II등급	121~180점	산사태 재해 위험성 상(50% 이상)
III등급	61~120점	산사태 재해 위험성 중(25% 이상)
IV등급	60점 이하	산사태 재해 위험성 하(25% 미만)

기능을 추가하였으며 수리, 수문, 수질 및 유역관리 분야에서 GIS를 효과적으로 적용할 수 있는 기능을 제공하고 있다(과학기술부, 2007). HyGIS의 화면구성은 그림 2와 같다.

FIGURE 2. HyGIS 구동화면

HyGIS-Landslide는 수자원지리정보모형인 HyGIS의 독립된 콤포넌트 형식으로 개발되었으며 산지하천의 재해 위험지역 선정을 위한 의사결정 지원을 목적으로 산사태 위험지에 대한 정보와 위험지 분석 기법을 제공하고 있다. 기 제공되고 있는 산사태 위험지도 및 산사태 관련 시스템과 비교하여 HyGIS-Landslide의 가장 큰 특징은 사용자의 의사결정 지원을 위한 분석기법을 제공한다는 점이다. 이는 사용자가 분석하고자 하는 지역에 대한 공간자료를 수집하는 별도의 절차가 필요하나 공간자료의 특성에 따라 현시성 있는 분석이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 이를 위해 Microsoft의 C#을 이용하여 각 처리

단계별로 대화창을 통해 레이어를 입력받아 처리할 수 있도록 시스템을 개발하였으며 그리드 자료 처리를 위해 VAT(Value Attribute Table)파일을 value renderer로 변환하는 기능을 제공한다.

HyGIS-Landslide는 HyGIS에서 제공하는 지형분석 기능을 이용하여 흐름방향, 향, 경사, 흐름누적수 등 지형인자를 손쉽게 계산할 수 있으며 지형자료의 편집과 변환이 가능하다. 또한, 산사태 발생과 밀접한 관련이 있는 강우자료의 활용을 위한 공간해석 기법을 제공하며 위험지역 선정시 경사인자를 이용한 2차 자료(경사길이, 경사위치, 경사모양)의 계산을 지원함으로써 사용자는 간편하게 위험지역에 대한 정보를 획득할 수 있다.

2. 입력자료 및 운영체제

HyGIS-Landslide에서는 수치지형도, 수치지질도, 수치임상도, 수치산림입지도를 기본 레이어로 사용하며 수치임상도는 임상과 경급으로 구분하여 입력자료를 제작하고, 지질도에서는 모암 속성을, 산림입지도에서는 토심 속성을 각각 이용한다. 각 레이어는 중부원점을 갖는 TM좌표로 변환하여 사용하였으며 본 연구에 사용된 자료의 제작시기 및 생성인자는 표 2와 같다. 그림 3은 HyGIS-Landslide에서 위험등급을 처리하는 과정으로 4개의 기본 레이어 중 수치지형도에서 제작된 수치표고모델(DEM)을 이용하여 지형인자를 계산하고 이를 이용하여 경사인자를 생산한다.

그림 4에서 경사길이는 대상 사면에 집수될

TABLE 2. HyGIS-Landslide 입력자료

구분	축척	제작시기	생성인자	제작기관
수치지형도	1/25,000	2003	경사길이, 경사위치, 사면형태(경사모양), 경사도	국토지리정보원
수치지질도	1/50,000	2002	모암	한국지질자원연구원
수치임상도 (3차, 4차)	1/25,000	1995 (3차) 2005 (4차)	임상 (경급)	산림청, 국립산림과학원
수치 산림입지도	1/25,000	2003	토심	산림청, 국립산림과학원

FIGURE 3. HyGIS-Landslide 위험등급 처리과정

(a) 경사길이 알고리즘

(b) 경사위치 알고리즘

(c) 경사모양 알고리즘

FIGURE 4. HyGIS-Landslide 경사인자 생성

FIGURE 5. 산사태 위험지 분류에 사용된 레이어

수 있는 최상지점까지의 거리를 의미하며, 대상 사면으로부터 능선까지의 거리를 산출한다. 또한 경사위치는 대상 사면의 계곡과 능선과의 수직적인 10분비를 의미하며, 조사대상 사면을 포함하는 능선과 계곡까지의 거리의 비율로 나타낸다. 경사모양은 사면의 형태에 의해 평행, 상승, 하강 및 복합사면으로 구분되어 표현하도록 되어 있다(정주상 등, 2002). 산지사면 입지해석은 산악지에서 경사의 길이, 위치 및 형태를 결정하는 것으로 산사태 판정을 위해 가장 중요한 요소이며 이를 위해서는 정확한 능선과 계곡의 추출이 필요하다. HyGIS-Landslide에서는 흐름누적수를 기준으로 계곡과 능선을 구분하였으며 정주상 등(2002)이 제안한 산지사면 입지해석 모듈을 참고하여 그림 4와 같은 절차로 경사길이와 경사위치, 경사모양을 계산하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 생성된 경사인자를 비롯하여 산사태 위험지역 분류에 사용된 주제도는 그림 5와 같다.

산사태 판정표(임업연구원, 1999)에서 조사자의 점수보정인자는 +20점에서 -10점까지 다양하게 부여할 수 있으며, 위험지역 판별시 숙련된 조사자의 경험이 중시된다는 점을 고려할 때 점수보정은 매우 중요한 조사항목이라 할 수 있다. HyGIS-Landslide에서는 산사태 발생공간에 대한 효과적인 반응을 위해 조사자의 점수보정 과정을 추가하였다. 점수보정 값의 추가는 연구대상 범위와 일치하는 그리드 자료를 생성한 후 그리드 셀을 직접 선택하여 해당 셀의 점수를 직접 입력하거나 선택된 셀의 점수를 일정 값 만큼 증가시키는 방법을 적용할 수 있으며 위험지 분류를 위한 위험지 점수레이어(Total Score layer)에 사용자 점수보정 레이어를 합산하여 계산한다. 이때 보정지역은 마우스로 영역을 지정하거나 격자를 개별적으로 선택하여 지정할 수 있으며 능선이나 수치고도모델, 기타 사용자가 현장에서 수집한 정보를 이용하여 점수를 보정한다.

3. 발생구역도를 이용한 분류정확도 평가

산사태 발생지역을 대상으로 한 DB구축은 발생지역의 특성을 분석하고 관련 통계자료를 구축하여 향후 산사태 예방을 위한 기초자료로 활용하기 위한 목적으로 이루어지며 산사태 발생지역에 대한 맵핑(mapping)은 고해상도 위성영상(오치영 등, 2009)이나 항공사진(손정우 등, 2009) 자료가 주로 이용된다. HyGIS-Landslide에서는 산사태 발생지역에 대한 맵핑결과가 존재하는 경우 이를 위험지 분류결과와 중첩하여 분류결과의 타당성을 평가할 수 있도록 구현하였다. 산사태 발달 단계를 발생부, 유하부, 퇴적부로 구분한 후 레이어 연산을 통해 실제 산사태 발생지역이 HyGIS-Landslide의 어떤 위험지역에 속해 있는지 비교하고 이를 통해 위험지역에 대한 분류가 적절히 수행됐는가를 평가할 수 있도록 하였다.

HyGIS-Landslide의 적용

1. HyGIS-Landslide 구동 과정

HyGIS-Landslide의 구동은 그림 6과 같이 5단계로 구분되며 DEM 처리 단계에서는 합몰부와 평탄부(sink/flat) 처리된 DEM을 이용해 지형인자를 계산한다. 이 과정은 HyGIS에 포함된 배수구역(Drainage) 메뉴를 이용하며 그림 7은 산사태 모듈 및 전처리 단계에서 활용하는 HyGIS DEM 메뉴와 Drainage 메뉴를 나타낸 것이다. DEM에서 계산되는 지형인자 중 향(aspect)은 12방향법을 사용하였다. 일반적으로 GIS에서는 향을 결정할 때 8방향법을 사용하고 있으나 HyGIS-Landslide에서는 산사태가 발생하는 사면을 하나의 장으로 판단하고 사면장을 세분화하여 정밀한 예측이 가능하도록 향을 30도씩 구분하는 12방향법을 적용하였다. 경사인자 생성 단계에서는 지형인자를 이용해 경사길이, 경사위치, 경사모양 레이어를 생성한다. 경사길이와 경사위치는 계곡과 능선을 기

FIGURE 6. HyGIS-Landslide 구동 과정

FIGURE 7. HyGIS-Landslide 메뉴바

준으로 하며 흐름방향, 향, 경사, 흐름누적수를 이용하여 계곡과 능선 레이어가 내부적으로 계산된다. 계곡은 하천망을 기준으로 판단하고 있으며 사용자가 입력하는 임계값

(threshold)에 따라 하천망이 생성된다. 카테고리별 점수계산 및 위험지역 선정 단계에서는 경사인자와 지질도 모암, 입지도 토심, 임상도 경급 및 임상 레이어의 가중치를 레스터

FIGURE 8. HyGIS-Landslide 사용자 환경

연산하여 격자별로 합산된 위험점수를 산출하며 이를 산사태 판정표(임업연구원, 1999)기준으로 분류하여 최종 산사태 위험분류도가 제작된다.

그림 6의 HyGIS-Landslide 구동 과정 중 조사자 점수보정 단계와 기존 산사태 발생지역을 대상으로 한 검증 단계는 선택사항이며 HyGIS-Landslide 모듈에 포함된 각 단계별 입출력 데이터와 GUI는 그림 8과 같다. 그림 8의 Landslide grade 분류과정 중 카테고리

별 가중치 재설정 메뉴를 선택시 그림 1의 위험지 판정표에서 카테고리별 가중치를 재설정할 수 있다.

2. 산사태 위험지역에 대한 적용

HyGIS-Landslide의 적용성 검토를 위해 본 연구에서는 그림 9와 같이 강원도 인제군 인제읍, 덕산리, 덕적리, 가리산리 일부를 포함하고 있는 지역을 대상지역으로 선정하였다. 대상지역은 2006년 7월 15일 대규모 토석류

FIGURE 9. HyGIS-Landslide 적용 지역

FIGURE 10. 2006년 강원도 인제 산사태 발생지역의 항공사진 맵핑 결과

FIGURE 11. 산사태 발생위험 점수

FIGURE 12. 대상지역의 산사태 위험등급도

산사태가 발생한 지역으로 2006년 8월 2일~3일 촬영된 항공사진을 통해 산사태 발생 지역에 대한 맵핑을 실시하였고(손정우 등, 2009) 그림 10과 같이 산사태 발생지역을 발단부, 유하부, 퇴적부로 구분하였다. 본 연구에서는 HyGIS-Landslide의 위험지 분류결과가 실제 산사태 발생지역과 어떤 차이를 보이는가를 비교하기 위해 그림 9의 지역을 대상으로 항공사진 맵핑자료를 수집하여 활용하였다.

산사태 위험도 평가를 위해 수치지도, 수치

지질도, 임상도, 산림입지도를 10m 해상도로 구축하였다. 수치지도의 등고선과 표고점을 이용해 제작한 DEM을 HyGIS에서 sink/flat 처리한 후 지형인자와 경사인자를 제작했고 수치지질도의 기초 지질정보 레이어 중 암석명(DOR) 필드를 이용하여 모암레이어를 구축하였다. HyGIS-Landslide에서 임상도는 3차~5차 임상도를 활용할 수 있도록 제작되었으며 본 연구에서는 4차임상도의 임상과 경급 필드를 이용하였다. 마지막으로 산림입지

FIGURE 13. 산사태 발생부와 위험도 분류결과의 중첩

도의 경우 토양층의 표토층에서 심토층까지의 깊이를 나타내는 토심 필드를 이용하였다. 동일 영역을 대상으로 10m 해상도로 구축된 공간자료의 연산을 통해 그림 11과 같이 산사태 발생위험점수(Landslide total score)가 계산되며 이를 분류하여 그림 12의 산사태 위험등급도를 제작하였다.

대상지역의 위험등급 분포는 산사태 발생위험도가 높은 1등급과 2등급이 각각 0.18%와 37.63%를 나타내고 있으며 3등급이 47.73%, 4등급이 14.46%로 나타났다.

본 연구에서는 그림 12와 같이 분류된 대상지역의 산사태 위험등급도 위에 발생구역별로 맵핑된 산사태 발생결과를 중첩하였다. 그림 13은 그 일부를 확대한 결과로 산사태 발생부와 유하부가 어떤 위험등급에 분포하고 있는가를 확인할 수 있다. 그림 13과 같이 산

사태 발생부 중 다수가 2등급 지역에 분포하고 있으며 산사태 발생구역이 2등급 지역의 분포와 유사성을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 표 3은 대상지역에 대해 실제 산사태가 HyGIS-Landslide의 어떤 위험지역에서 발생했는가에 대한 분류 결과로 산사태 고 위험지역인 1,2등급에 위치하고 있는 셀이 47.6%로 나타났다. 1,2등급에 포함된 산사태 발생지역의 비율이 예상보다 높지 않았으며 위험지 분류 레이어를 검토한 결과 몇 개의 셀로 이루어진 파편화된 지역들과 능선과 계곡의 불연속적인 경계가 발견되었다. 능선과 계곡레이어는 산사태 위험지 판정표에서 큰 점수비중을 차지하는 경사길이 및 경사위치의 생성에 직접적으로 이용되므로 향후 이와 같은 오류를 제거하기 위한 알고리즘의 개선이 필요할 것으로 판단되었다.

TABLE 3. HyGIS-Landslide 위험지 분류결과와 항공사진 맵핑결과의 중첩 결과

HyGIS-Landslide	산림청 분류기준		산림청 분류기준 가중치 수정	
	산사태 발생부	발생부+유하부	산사태 발생부	발생부+유하부
1 등급 지역	0.09 %	0.09 %	6.80 %	4.11 %
2 등급 지역	47.48 %	56.61 %	54.02 %	63.76 %
3 등급 지역	47.13 %	40.10 %	37.33 %	30.61 %
4 등급 지역	5.30 %	3.20 %	1.85 %	1.52 %

본 연구에서는 산사태 발생지역에 대한 공간특성을 분석한 후 산사태 발생공간의 지역적 특성을 반영할 수 있도록 위험지 판정기준의 가중치를 재설정한 후 이를 평가하였다. 본 연구에서 재설정된 인자는 산림청의 산사태 위험지 판정표(최경, 2001)상의 분류기준과 가장 큰 차이를 나타내는 임상, 토심, 경사도이며 임상의 경우 기존 산사태 위험지 판정표에서는 활엽수림 및 혼효림의 가중치가 높게 설정되어 있으나 대상지역에서는 산사태 발생부의 73.2%가 소나무림과 잣나무와 같은 침엽수림에서 발생한 이유로 가중치를 대경목 활엽수림과 동일하게 설정하였다. 토심의 경우 산사태 발생부 대부분이 45~100cm의 토심에서 발생한 이유로 해당범위에 최대 가중치를 부여하였다. 경사도 역시 가장 높은 가중치를 갖는 41° 이상의 지역이 발생부의 5% 이내로 나타나 26°~46° 지역의 가중치를 재설정하였다. 이와 같이 사용자 가중치를 반영하여 대상지역의 산사태 위험등급도를 계산한 결과 1등급 지역의 경우 0.18%에서 2.51%로 2등급 지역은 37.63%에서 46.14%로 증가하였다. 이와 같이 계산된 위험등급도를 그림 10의 산사태 발생구역도와 중첩한 결과는 표 3과 같으며 지역적 특성을 고려하여 사용자 가중치를 반영함에 따라 위험지 분류정확도가 발생구역별로 10%이상 향상되는 것으로 나타났다.

결론

2011년 여름에는 집중호우로 인해 다수의 산사태가 발생하였으며 산사태 예경보 및 산사태 위험지역에 대한 정보제공의 중요성이 이슈화되었다. 본 연구에서는 산지하천 유역의 재해 위험지역 파악을 위한 사용자 지원모듈로 HyGIS-Landslide를 개발하였으며 이를 산사태 발생지역을 대상으로 적용하고 분류정확도 등을 평가하였다. 본 연구에서 소개한 HyGIS-Landslide의 주요한 특징은 다음과 같다.

첫째, HyGIS-Landslide는 위험지 분류결과가 아닌 분석기술을 제공하며 사용자가 원하는 지역의 현시성있는 공간자료의 활용이 가능하다. 향후 전국적으로 구축중인 5차 임상도 및 정밀 산림입지도를 활용할 경우 보다 신뢰성 있는 결과의 도출이 가능할 것으로 판단된다.

둘째, 상용화 예정인 수자원지리정보시스템(HyGIS) 기반으로 운영되어 지형인자 계산 등 GIS 분석기법을 활용할 수 있으며 중요 알고리즘 개선시 이를 새로운 버전에 적절히 반영할 수 있다.

셋째, 조사자 점수보정 과정을 제공하고 산사태 발생지역 맵핑결과와의 비교를 통해 분류정확도의 타당성을 판단할 수 있으므로 시스템의 다양한 활용을 기대할 수 있다.

넷째, 위험지 판정기준의 가중치를 사용자가 재설정할 수 있도록 구현하여 산사태 발생공간의 지역적 특성을 반영할 수 있다.

본 연구에서는 강원도 인제군의 산사태 발생지역을 대상으로 HyGIS-Landslide를 적용하였으며 위험지 분류결과와의 적합성 여부를 판단하였다. 실제 산사태 발생지역과 위험지 분류결과와의 비교결과 유의한 결과가 도출되었으며 현재 제공되고 있는 능선 및 계곡 추출 알고리즘을 개선하여 분류정확성을 확보할 경우 보다 효과적인 정보의 제공이 가능할 것으로 판단되었다. 또한, 산사태 발생공간의 공간특성을 고려하여 위험지 판정기준의 가중치를 수정한 결과 위험지역에 대한 분류정확도가 향상됨을 확인하였다. 재해위험지역에 대한 분석기술과 현시성있는 산사태 위험지역에 대한 정보가 요구되는 시점에서 본 연구를 통해 개발된 HyGIS-Landslide의 개선 및 활용을 위한 추가적인 노력이 진행될 예정이며 산사태 발생지역에 대한 다양한 적용을 통해 본 모듈의 활용성을 지속적으로 제시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사

업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제(과제 번호 06국토정보B01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. **KAGIS**

참고문헌

- 과학기술부. 2007. HyGIS 개발. 11쪽.
- 박재국, 양인태, 전근우. 2009. 광대역 산사태 관리를 위한 공간정보기술. 방재연구 11(3):33-44.
- 배민기, 정규원, 박상준. 2009. 환경정보시스템을 이용한 산사태 발생위험 예측도 작성: 경상북도를 중심으로. 한국환경과학지 18(11):1189-1197.
- 산림청. 2005. 장마철 산림재난 대책수립을 위한 '산사태 발생 위험지도' 제작. 산림청 보도자료. 1-2쪽.
- 소방방재청. 2009. 산사태재해 예측 및 저감기술 개발 협동연구과제 보고서 -GIS기반 산사태 위험 분석 시스템 개발. 19-159쪽.
- 손정우, 김경탁, 이창현, 최철웅. 2009. 항공사진과 GIS를 이용한 인제지역 산사태 분석. 한국지형공간정보학회지 17(2):61-69.
- 오치영, 김경탁, 최철웅. 2009. SPOT영상과 GIS분석을 이용한 인제 지역의 산사태 특성 분석. 대한원격탐사학회지 25(5):445-454.
- 윤홍식, 이동하, 서용철. 2009. GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성. 한국지리정보학회지 12(4):59-73.
- 이사로, 김윤중, 민경덕. 2000. 산사태 공간 정보시스템 개발 및 산사태 공간 정보의 활용. 한국GIS학회지 8(1):141-153.
- 이승기, 이병두, 정주상. 2005. GIS를 이용한 산사태 위험지 판정 모델의 개발. 한국지리정보학회지 8(4):81-90.
- 이창우. 2010. 산지토사재해 조기경보체제 구축 현황과 과제. 방재연구 12(1):131-145.
- 임업연구원. 1999. 산지사면 붕괴발생 위험도 구분. 임업연구사업보고서(산림환경 5-1). 246-273쪽.
- 정규원, 박상준, 이창우. 2008. 산사태 발생위험 예측을 위한 판정기준표의 작성 -경상북도 지역을 중심으로-. 한국임학회지 97(3):332-339.
- 정주상, 이병두, 이승기. 2002. 산사태 예측을 위한 산지사면 입지해석 모듈의 개발. 한국임학회지 91(1):34-41.
- 조명희, 조운원. 2009. 기상과 지형자료를 통합한 산사태 위험지 예측 기법 개발 -울진 지역을 대상으로-. 한국지리정보학회지 12(2):1-10.
- 최경. 2001. 산사태 예보와 위험지 판정기술. 방재연구 3(4):15-27.
- 산사태위험지 관리시스템. <http://sansatai.foa.go.kr>. **KAGIS**