

RS와 GIS 기법을 활용한 산사태 위험성의 검증

조남춘^{1*} · 최철웅¹ · 전성우² · 한경수¹

Verification of Landslide Hazard using RS and GIS Methods

Nam-Chun CHO^{1*} · Chul-Uong CHOI¹ · Seong-Woo JEON² · Kyung-Soo HAN¹

요 약

2005년 5월 산림청에서 전국 산지를 대상으로 산사태 위험지도 제작하였다. 본 연구는 산사태 위험지도의 정확성 검증을 위하여 2005년 8월 2~3일 전북지역에서 발생한 산사태 지역을 대상으로 부경대학교 위성정보과학과 PE&RS Lab에서 개발한 PKNU 3호 시스템으로 촬영한 영상을 이용하여 산사태 발생 지역을 추출한 후 산사태 위험지도와 중첩해서 산사태 위험지도의 정확도를 검증하였다. 또한 ArcView 3.3의 산지 지형 분석과 하계망 분석을 통해 산사태 발생 지역의 고도, 경사도, 경사방향, 하천장, 유역면적에 대한 특성을 분석하였다. 그 결과 산사태 위험지도의 등급별 단위 %량의 조정이 필요하며 산사태 위험지도 작성에 기본이 되는 산사태 위험 판정표에 대한 수정·보완이 필요하다고 사료된다.

주요어: 산사태, PKNU 3호, RS, GIS, 산사태 위험지도

Abstract

Korea Forest Service made the landslide hazard map for all mountainous districts over the country in May 2005. In this study, we selected landslide areas occurred in Jeonbuk from 02 August 2005 to 03 August 2005 as the study area. We extracted landslide areas using images taken by PKNU 3 System, which was developed by PE&RS Laboratory in Dept. of Satellite Information Sciences, Pukyong National University and verified the accuracy of landslide hazard map by overlaying landslide hazard areas extracted by PKNU 3 images. And we analyzed characteristics of an altitude, a gradient, an inclined direction, a flow length, a flow accumulation for landslide areas using mountainous terrain analysis and Stream Network analysis of ArvView 3.3. As a result of this study, it is necessary to adjust the unitage(%) by the class and to modify and improve the score table for prediction of landslide-susceptible area forming the foundation of making the landslide hazard maps.

KEYWORDS: Landslide, PKNU-3, RS, GIS, Landslide Hazard

2006년 2월 22일 접수 Received on February 22, 2006 / 2006년 6월 7일 심사완료 Accepted on June 7, 2006

1 부경대학교 위성정보과학과 Department of Satellite Information Science

2 한국환경정책·평가연구원 Korea Environment Institute

* 연락처 E-mail: unquespring@hanmail.net

서론

산사태는 토양의 응집력을 약화시키는 강우나 지진과 같은 외력에 의하여 토양이나 암석이 균형을 잃고 중력 작용에 의하여 일시에 아래로 무너져 내리는 것으로 국토의 64%가 산지인 우리나라는 하절기 집중호우로 인하여 매년 빈번하게 발생하고 있으며, 최근 10년간 연평균 22명의 인명과 156억원의 재산피해가 발생하였다(산림청, 2001).

산사태로 발생하는 인명과 재산피해를 최소화하기 위하여 산사태 발생 예측에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 최경(1986)은 산사태 발생에 영향을 주는 인자로 모암, 사면 횡단면, 사면길이, 경사도, 사면위치, 임분의 경급, 석력 함량, 토심 등을 제시 하였다. 그리고 이진덕 등(2002)은 GIS를 이용한 경사도, 경사방향, 식생지수분포와 토지 피복 현황도에 따른 산사태 발생 가능지수를 선정 산사태 위험분포도를 작성하여 산사태 발생 가능지역을 예측 하였으며, 이천용 등(2002)은 산사태 위험지 판정표와 GIS응용 프로그램을 이용하여 산사태 위험지도 작성기법을 개발·제작하였다.

이러한 기존 연구를 토대로 하여 2005년 5월 산림청에서 전국 산림지역의 산사태 위험지도를 제작하였다. 산사태 위험지도는 80년부터 96년까지 전국 산사태 발생지를 조사하고 산사태 발생에 큰 영향을 주는 지질 및 지형인자 7개를 분석하고 산사태 발생 위험 판정표를 제작하여 이를 바탕으로 지난 2월에 산사태 위험지도가 제작되었다. 또한 산사태 발생 위험지도를 바탕으로 GIS를 이용한 산사태 위험지 관리시스템을 구축하여 산사태 발생 취약지 집중관리와 범정부적 수해방지 종합대책의 일환으로 사방댐 및 예방사방을 확대해 나갈 계획이다.

따라서 본 연구는 산림청에서 제작된 산사태

위험지도의 검증을 위하여 2005년 8월 2~3일 전북지역에서 발생한 산사태 지역을 대상으로 부경대학교 위성정보과학과 PE&RS Lab에서 개발한 PKNU 3호 시스템으로 촬영 후 PKNU 3호 영상을 이용하여 산사태 지역을 추출한 후 산사태 위험지도와의 중첩하여 산사태 위험지도의 정확도를 검증하고 GIS 기법을 활용하여 산사태 발생 지역의 고도, 경사도, 경사방향, 하천장, 유역면적에 대한 특성을 분석하였다.

영상취득 및 공간자료 구축

1. 항공촬영

2005년 8월 2~3일 전국에 국지적인 폭우로 인하여 전국적으로 421ha의 산사태가 발생하였고, 특히 전북지역에는 부안 354.5 mm, 전주 279.5 mm, 임실 248 mm 등 폭우로 인한 산사태가 발생하여 390ha의 산림지가 손실되는 피해가 발생하였다. 이번 산사태 피해지역의 정확한 관측을 위해서 2005년 8월 19일 오전 9시 11분 전라북도 익산 항공 관리소에서 산림청 KAMOV 헬기에 부경대학교 위성정보과학과 PE&RS Lab에서 개발한 소형 다중분광 항공 촬영 시스템인 PKNU3호를 탑재하여(그림 1) 무주, 함양, 정읍지역을 촬영하였다.

본 연구에서 활용된 PKNU3호 system은 센서부와 영상저장 시스템부, 그리고 탑재체로 구성된다. 센서부는 REDLAKE MS4000 다중분광카메라와 Raytheon IRPro 열적외 카메라(Thermal IR)로 이루어져 있으며 방진 설계하여 카메라의 촬영 각도를 조절할 수 있는 짐벌에 장착되어있다. 센서에 의해 획득된 대용량의 영상을 저장하기 위하여 80G 소형 베어본 컴퓨터 2대와 동영상을 압축하여 실시간 고화질로 저장할 수 있는 MPEG Board를 특수 방진 케이스에 장착하

여 영상저장 시스템을 구성하였다. REDLAKE MS 4000은 가시대역과 근적외 대역의 동시 촬영으로 동일지역의 RGB영상과 CIR영상을 획득할 수 있는 3-CCD 카메라로 Red대역, Green/Blue대역과 근적외 파장대역에서 빛을 감지한다. CCD의 전체 픽셀 수는 1600×1200이며 한 픽셀당 크기는 7.4 μm 이다(이은경, 2005).

산사태 지역의 명확한 구분을 위하여 식생 지역을 판가름 할 수 있는 PKNU3호의 다중분광 센서를 이용한 CIR영상 획득방법을 활용하여 2초 간격으로 2450장(17.12GB)의 영상을 획득하였다(그림 2).

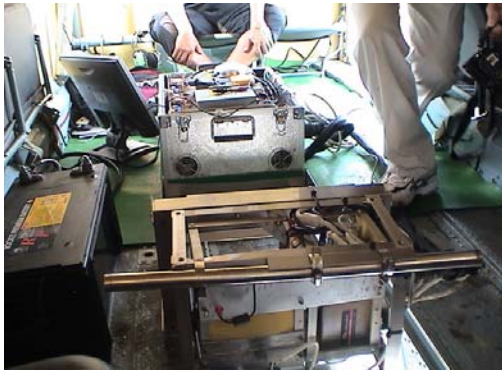


FIGURE 1. PKNU 3호 시스템 탑재 위치

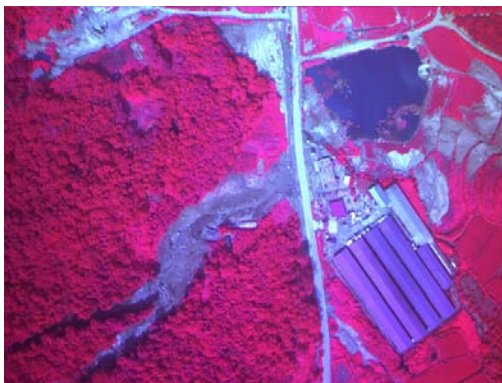


FIGURE 2. PKNU 3호 항공사진

2. GPS 측량 및 분석

본 연구에서는 Kinematic GPS 측량을 적용하여 항공촬영 경로와 촬영 당시의 위치(x, y, z)에 대한 데이터 취득하였다. 임시 기준점은 Trimble 5700 GPS 기기와 기준점용 Beacon 안테나를 사용하여 전라북도 익산 항공 관리소에 설치하였으며 Rover는 Trimble 5700 GPS 기기와 Novatel 항공 측량용 GPS 안테나를 탑재체에 설치하여 1s 간격으로 측량하였다.

GPS처리는 trimble geomatic office(TGO) V1.5 프로그램을 이용하여 국립 천문대 GPS 상시 관측소 중 GPS데이터 수신율이 1s인 대전 상시 기준점으로부터 본 연구에 임시로 세운 기준점(익산 산림 항공 관리소)과 처리하여 좌표 값을 획득한 후 탑재체에서 측량된 데이터간의 기선을 처리하여 좌표 값들을 획득하였다.

획득된 GPS 자료를 토대로 항공 경로를 파악하고 각 항공사진 촬영 당시 탑재체의 위치 및 고도, 속도를 분석 하였다. 그 결과 고도는 최저 약 200 m에서 최고 약 1200 m로 평균 723 m에서 촬영하였으며, 비행속도는 최고 250 Km/h로 평균 204.7 Km/h로 비행하였다.

3. 정사보정

항공촬영에서 획득한 2450장의 영상 중 산사태 지역이라고 판단되는 총 618장의 영상을 선별하였다. 이 영상들 중 산사태 붕괴지를 포함하고 촬영위치 좌표값이 있는 153장의 영상을 선별하여 절대적 위치와 차이를 발생시키는 왜곡을 보정하기 위하여 ERDAS 8.6 프로그램을 이용 정사보정 하였으며, 산사태의 규모에 따라 한 장의 영상으로 만들기 위하여 모자이크 하였다(그림 3). 또한 모자이크된 영상을 3D 영상으로 생성하여 산사태 이전의 영상과 비교 산사태 피해지역을 그림 4와 같이 시각화하였다.

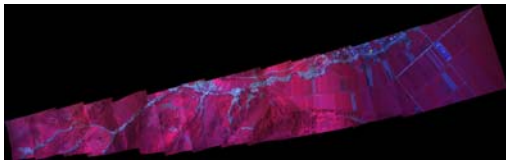
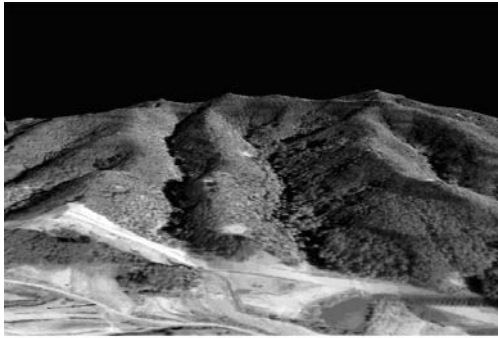
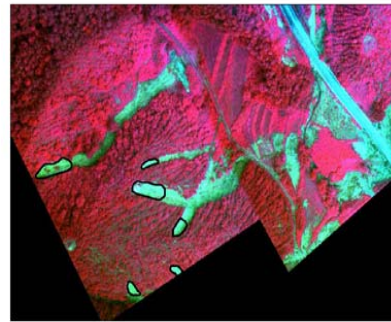


FIGURE 3. PKNU 3호 모자이크 영상

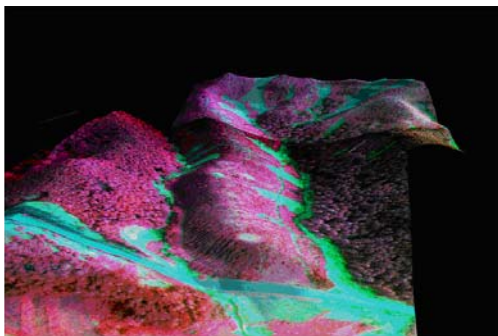
붕괴지, 첫 변곡점에서 두 번째 변곡점까지의 영역을 사태가 흘러내린 영역으로 유하지, 두 번째 변곡점 이하를 퇴적지로 분류하여 각 영역의 특성을 판단하기 위해 정사투영 된 항공영상을 Imagine Analyst 프로그램을 이용 영역별로 그림 5와 같이 digitizing 하였다.



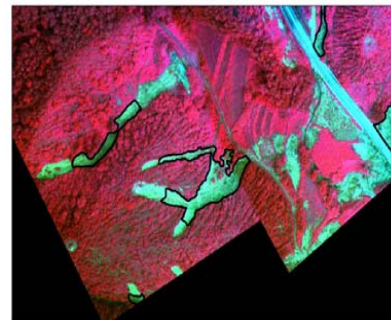
(a) 산사태 이전 3D 영상



Source Area



(b) 산사태 이후 3D 영상

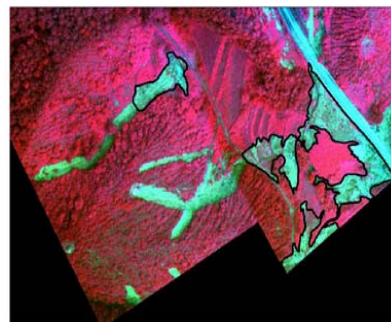


Track Area

FIGURE 4. 산사태 전 · 후 3D 영상

4. 산사태 영역별 추출

본 연구에서는 항공영상을 이용한 산사태 지역 추출을 위해 산사태 전 영상과 산사태 발생 후 영상을 비교하여 산사태 발생지역을 선별한 후 현재 사용되고 있는 토석류 조사야장(산림청)의 붕괴지, 유하지, 퇴적지로 구분하는 방법을 토대로 산사태 발생지역의 경사도 변곡점을 기준으로 산사태 발생지점에서 첫 변곡점까지의 영역을 산사태 발생지로 분류한



Depositional Area

FIGURE 5. 산사태 영역별 디지털링

산사태 지역의 Digitizing을 통하여 붕괴지 260곳, 유하지 184곳, 퇴적지 87곳 총 531곳을 추출하여 각 영역별 면적을 측정하고, 붕괴지의 정확한 위치를 관측하기 위하여 각 붕괴지의 좌표값을 획득하여 각 영역별 특성을 파악할 수 있는 공간자료를 구축하였다.

산사태 위험지도 정확성 분석

1. 산사태 위험지도

산사태 위험도(그림 6)는 산림청에서 전국 산지를 대상으로 산사태 위험지 판정표(표 1)를 토대로 지리정보 시스템(GIS)을 이용 산사태 발생에 관한 7가지 지질 및 지형인자(모암, 임상 및 경급, 경사도, 경사길이, 경사위치, 토심, 사면형태)를 분석하여 2005년 2월 제작하였다. 이는 GRID화 되어 있으며 각 셀의 공간 해상도는 10m이고 등급별로 1등급(산사태 발생 가능성이 아주 높은 지역), 2등급(산사태

발생 가능성이 높은 지역), 3등급(산사태 발생 가능성이 있는 지역), 4등급(산사태 발생 가능성이 없는 지역)으로 구분하여 산사태 위험성을 나타내고 있다.(이천용 외, 2002) 전국과 연구지역의 등급별 위험도는 표 2, 표 3과 같이 산사태 위험성이 높은 1, 2등급 지역이 전국은 56.9%로 나타났고 연구지역은 63.6%로 나타났다.

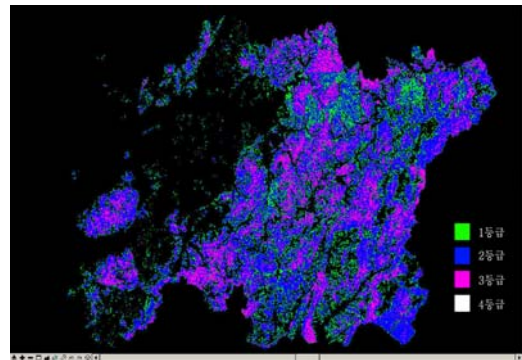


FIGURE 6. 연구지역의 산사태 위험지도

TABLE 1. 산사태 위험지 판정표

조사항목	Category 별 가중치				
	1	2	3	4	5
경사길이 (m)	50이하 0	51-100 19	101-200 36	201이상 74	
모 암	• 퇴적암 (이암, 석회암, 혈암, 사암 등) 0	• 화성암 (화강암류 기타) 5	• 변성암 (천매암, 점판암 기타) 12	• 변성암 (편마암류 및 편암류) 19	• 화성암 (반암류와 안산암류) 56
경사위치	0-4/10 0	5-6/10 9	7-10/10 26		
임 상	• 침엽수림 (치수림, 소경목) 18	• 침엽수림 (중경목, 대경목) • 활엽수림, 혼효림 (치수림) 26	• 활엽수림, 혼효림 (소·중·대경목) 0		
사면형태	상승사면 0	평형사면 5	하강사면 12	복합사면 23	
토심 (cm)	20이하 0	20-100 7	101이상 21		
경사도 (°)	25이하 16	26-40 9	41이상 0		

TABLE 2. 전국 산사태 위험지도 통계표

구분	1	2	3	4	합계
Ha	24만 ha	285만 ha	225만 ha	95만 ha	629만 ha
%	4.5%	52.4%	41.4%	1.7%	100.0%

TABLE 3. 진안, 장수, 무주 산사태 위험지도 통계표

구분	1	2	3	4	합계
Ha	23,052ha	222,718ha	136,814ha	4403ha	386,987ha
%	6.0%	57.6%	35.4%	1.1%	100.0%

2. 붕괴지의 위험 등급 선정 및 분석

산사태 위험도의 정확성을 검증하기 위하여 붕괴지역의 산사태 위험등급을 선정하여 각 등급별 발생빈도를 분석하였다. 항공영상에서 추출된 붕괴지역과 산사태 위험도를 중첩하여 붕괴지를 중심으로 주위의 9개 셀 중 최대 위험 등급을 선택하는 방법과 최소 위험 등급을 선택하는 방법을 택하여 위험등급을 선정하였다.

그림 7의 붕괴지 1S687697-11의 경우 최대 위험등급 선택 방법으로 선정시 2등급으로 선정하고 최소 위험등급 선택방법으로 선정시 4 등급으로 선정하였으며 총 260곳의 붕괴지 중 산지로 분류되지 않은 20곳을 제외하고 총 240곳의 선정 결과는 표 4와 같다.

TABLE 4. 산사태 위험지도 적절성 평가

위험등급	1	2	3	4	총합계
방법1 (max)	58	152	30	0	240
방법2 (min)	20	125	87	8	240
방법1 (max:%)	24.2%	63.3%	12.5%	0.0%	100.0%
방법2 (min:%)	8.3%	52.1%	36.3%	3.3%	100.0%

방법1은 붕괴지역 중심 붕괴원점 주변 9개 셀 중에 가장 높은 위험등급을 선택하여 최대 위험도로 본 경우이며, 방법2는 붕괴지역 중심 붕괴원점 주변 9개셀 중에 가장 낮은 위험 등급을 선택하여 최소 위험도로 본 경우다. 그에 따라 본 연구지역에서는 1등급 지역은 24.2%~8.3% 이고, 2등급 지역은 63.3%~52.1%, 3등급 지역은 36.3%~12.5%, 4등급 지역은 3.3~0%로 판독되었다. 그중 산사태 위험도 상대적으로 높은 1~2등급은 연구지역의 60.4%~87.5%로 나타났다.

그러나 본 연구지역 전체 누가 1, 2등급 63.6%를 고려할 때, 기존의 산사태 위험지도 제작은 상관성이 다소 낮게 볼 수 있으므로 향후 보다 높은 정확도 산정을 위하여 기존 사용하는 산사태 위험지도 작성항목에 대한 수정·보완과 등급별 단위 %량의 조정이 필요하다고 사료 된다.

또한 본 연구에서는 붕괴지 주변의 식생이

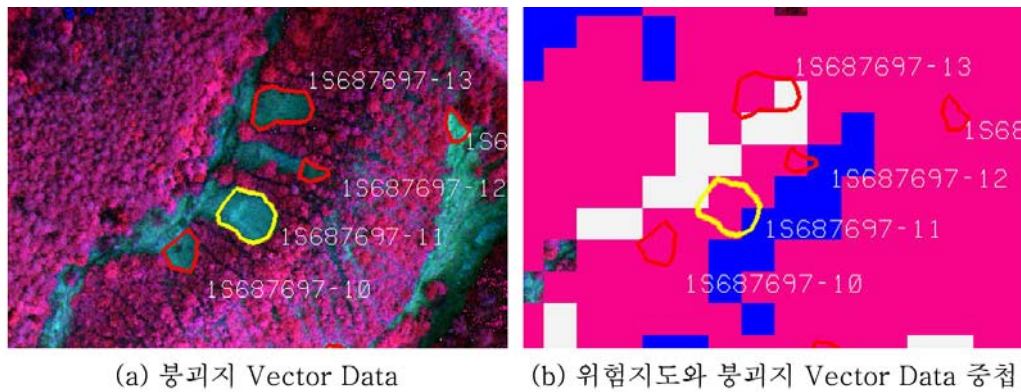


FIGURE 7. 붕괴지 위험등급 선정

산사태에 미치는 영향에 대하여 분석하기 위해 붕괴지 주변 식생을 벌채지, 조림지, 산림, 임도로 분류하여 식생에 따른 위험도에 대해 분석하였다. 그 결과는 표 5, 표 6과 같다.

TABLE 5. 식생별 최대 위험등급 %표

식생	1	2	3	4	총합계
벌채지	0 (0%)	5 (2.1%)	1 (0.4%)	0 (0%)	6 (2.5%)
조림	10 (4.2%)	49 (20.4%)	11 (4.6%)	0 (0%)	70 (29.2%)
산림	48 (20.2%)	93 (38.8%)	16 (6.7%)	0 (0%)	157 (65.4%)
임도	0 (0%)	5 (2.1%)	2 (0.8%)	0 (0%)	7 (2.9%)
총합계	58 (24.2%)	152 (63.3%)	30 (12.5%)	0 (0%)	240 (100%)

TABLE 6. 식생별 최소 위험등급 %표

식생	1	2	3	4	총합계
벌채지	0 (0%)	4 (1.7%)	2 (0.8%)	0 (0%)	6 (2.5%)
조림	3 (1.3%)	40 (16.7%)	23 (9.6%)	4 (1.7%)	70 (29.2%)
산림	17 (7.1%)	80 (33.3%)	58 (24.2%)	2 (0.8%)	157 (65.4%)
임도	0 (0%)	1 (0.4%)	4 (1.7%)	2 (0.8%)	7 (2.9%)
총합계	20 (8.3%)	125 (52.1%)	87 (36.3%)	8 (3.3%)	240 (100%)

식생별로 조림 및 벌채지 31.7%, 산림 65.4%, 임도 2.9%의 산사태가 발생하였다. 하지만 연구지역에 조림 및 벌채지의 정확한 면적 통계 데이터가 없기 때문에 촬영된 항공사진을 분석하여 연구지역에서 조림 및 벌채지가 차지하는 면적이 약 12~15%임을 알 수 있었다. 따라서 전체 면적에 따른 산사태 발생 정도를 판단하면 조림 및 벌채지에서 산사태가 빈도가 높은 것으로 사료되며 차후 산사태 위험지도의 정확도 향상을 위하여 산림의 상태에 따른 분류를 통하여 이에 대한 가중치 부여가 필요하다고 사료된다.

GIS 기법을 활용한 산사태 위험도 등급별 분석

항공촬영 지역이 광범위하기 때문에 붕괴지 203곳, 유하지 148곳, 퇴적지 55곳 총 406곳(77%)이 집중되어있는 무주 지역을 연구지역(실거리 약 11km×8.8km)으로 선정하였다. 최대 위험등급을 선택하여 분류된 등급을 기준으로 203곳의 붕괴지의 특성을 분석하였다. 이 중 1등급 지역에서 발생한 붕괴지는 51곳(25.1%)이고 2등급 지역에서 발생한 붕괴지는 129곳(63.5%), 3등급 지역은 23곳(11.3%)에서 발생하였다. 이러한 등급별 데이터를 이용하여 각 인자별 특성에 대하여 분석하였다.

1. 위험도 등급별 고도 분석

산사태 위험도 판정표에는 산사태 발생지의 고도에 대한 인자는 없지만 경사길이, 경사위치가 산사태 등급별 고도를 판별할 수 있는 근거가 된다. 또한 1등급의 기준이 되는 가중치의 합 181중 49.7%를 차지하는 90의 가중치가 부여되며 가중치의 합 234의 38.5%를 차지하는 위험도 인자 중 가장 중요한 인자이다.

연구지역의 1:5000 수치지도에서 생성된 2m 해상도의 DEM을 생성하고 PKNU 3호 영상에서 추출된 산사태 붕괴지역을 Polygon으로 형성하였다. DEM과 Polygon의 중첩을 통하여 붕괴지 고도 값을 획득하고 각 Polygon 영역의 평균 고도 자료를 SPSS 13.0 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 산사태 위험도 등급별 고도 분석 결과는 표 7과 같고 고도에 따른 발생 빈도를 그림 8에 나타내었다.

TABLE 7. 위험지도 등급별 고도 분석표

고도(m)	1등급	2등급	3등급
	통계량	통계량	통계량
평균	587.78	565.64	550.30
평균의 95% 신뢰구간	573.92 (하한)	556.19 (하한)	532.42 (하한)
	601.73 (상한)	575.10 (상한)	568.14 (상한)
5% 절삭평균	587.94	565.80	552.75
중위수	594.46	568.23	560.70
분산	2459.84	2945.20	1706.02
표준편차	49.60	54.27	41.30
최소값	458.78	458.44	441.24
최대값	696.82	685.06	609.90
범위	238.04	226.62	168.66
사분위수 범위	64.42	83.44	57.02
왜도	-0.11	-0.11	-0.83
첨도	0.62	0.69	0.63

붕괴지의 산사태 위험도 등급별 고도 분석 결과(표 7) 1등급 영역의 붕괴지는 평균의 95% 신뢰구간에서 573.92m~601.73m로 분포하며 평균 587.78m에서 발생하였고 2등급 지역은 556.19m~575.10m에 분포하며 평균 565.64m, 3등급 지역은 532.42m~568.14m에 분포하고, 평균 550.30m에서 발생하였다. 1등급에서 3등급으로 갈수록 고도가 낮아지는 것으로 분석되었다.

위험도 판정표의 경사길이, 경사위치 가중치를 분석하면 산사태 발생지가 정상에서 하단부로 내려갈수록 위험도가 높아져야 한다. 그러나 분석 결과 등급이 정상에서 하단부로 내려갈수록 위험도가 낮아진다. 이는 경사위치의

가중치만 적용 된 것으로 판단되며 따라서 현재 생성된 산사태 위험지도는 판정표의 경사길이에 대한 가중치가 제대로 적용되지 못하였으며 이에 따른 산사태 위험지도의 수정이 필요하다.

2. 위험도 등급별 경사도 분석

산사태 위험도의 중요한 인자 중 하나인 경사도(Slope)는 수치지도에서 생성된 DEM을 토대로 ArcView 3.3 프로그램을 이용하여 생성하여 산사태 지역을 추출하여 생성된 Polygon과의 중첩을 통하여 각 등급별 경사도에 대한 데이터를 획득하였다.

TABLE 8. 위험등급별 경사도 분석표

경사도(°)	1등급	2등급	3등급
	통계량	통계량	통계량
평균	25.60	26.92	35.46
평균의 95% 신뢰구간	23.97 (하한)	25.63 (하한)	30.06 (하한)
	27.22 (상한)	28.20 (상한)	34.86 (상한)
5% 절삭평균	25.54	27.09	32.15
중위수	25.28	27.60	32.42
분산	33.51	54.69	30.72
표준편차	5.79	7.40	5.54
최소값	14.65	4.63	23.23
최대값	37.68	45.05	47.88
범위	23.03	40.42	24.65
사분위수 범위	8.53	9.92	4.43
왜도	0.22	-0.43	0.88
첨도	-0.53	0.25	1.51

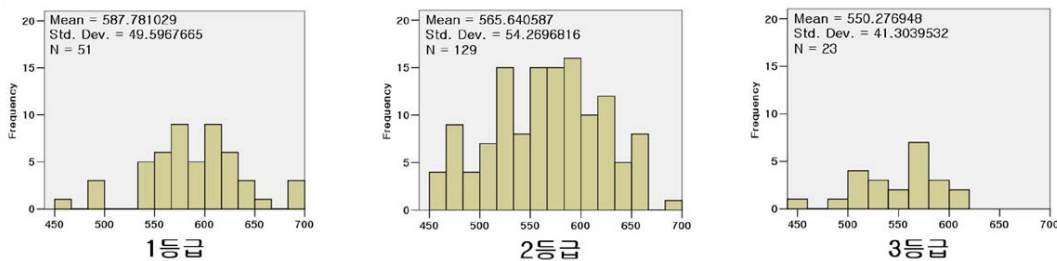


FIGURE 8. 위험등급별 고도에 따른 발생 빈도

산사태 위험도 등급별 경사도 분석 결과(표 8) 1등급 지역의 붕괴지는 평균의 95% 신뢰구간에서 23.97°~27.22°에 분포하며 평균 25.60°에서 발생하였고 2등급 지역은 25.63°~28.20°에 분포하며 평균 26.92°, 3등급 지역은 30.06°~34.86°에 분포하고 평균 35.46°에서 발생하였다. 위험 등급별 경사도에 따른 발생 빈도를 그림 9에 나타내었다.

산사태 위험도 판정표는 경사도 25°이하에 가장 많은 가중치가 부여되고 경사도가 커질수록 가중치가 줄어든다. 판정표와 산사태 위험도 등급별 결과를 비교하면 위험 등급이 낮을수록 경사도가 커지는 경향이 나타나므로 판정표의 경사도에 대한 가중치가 위험지도에 제대로 반영되었다고 판단된다. 그러나 붕괴지의 경사도 분석결과 180곳(88.6%)이 평균 25.30°~26.92°에서 발생 하였으며, 0°~25°에서 77곳, 25°~40°에서 122곳, 40°이상에서 4곳이 발생하여 25°~40°에서 발생 빈도가 가장 높았다. 따라서 판정표의 경사도에 대한 가중치 수정이 필요하다.

3. 위험도 등급별 경사방향 분석

경사방향은 산사태 위험도 판정표에 포함 되어 있지 않은 인자이다. 하지만 산지의 경사방향은 산지 사면의 일조시간과 밀접한 관련을 가지고 있다. 이는 사면의 토양 수분상태, 식생 및 풍화정도에 차이를 유발시켜 토양의 응집력과 안정성에 영향을 미치므로 산사태에 영향하는 인자라 할 수 있다. 본 연구에서는

산사태의 경사방향을 분석하기 위하여 생성된 DEM을 ArcView 3.3 프로그램의 Hydro Extension을 이용하여 물이 간히는 곳이나 데이터의 오류로 생기는 Sink를 제거한 후 하천의 전체적인 흐름 경향(flow direction)을 생성하였다. 이 생성된 Direction GRID와 산사태 지역 Polygon을 중첩하여 각 지역의 경사 방향에 대한 데이터를 획득하였다.

TABLE 9. 위험등급별 경사방향 분석표

Direction	산사태 위험도 등급			전체
	1등급	2등급	3등급	
1	Count 8	8	3	19
	% (Direction) 42.1	42.1	15.8	100.0
	% (Layer) 15.7	6.2	13.0	9.4
2	Count 3	24	5	32
	% (Direction) 9.4	75	15.6	100.0
	% (Layer) 5.9	18.6	21.7	15.8
4	Count 3	6	3	12
	% (Direction) 25.0	50.0	25.0	100.0
	% (Layer) 5.9	4.7	13.0	5.9
8	Count 7	17	4	28
	% (Direction) 25.0	60.7	14.3	100.0
	% (Layer) 13.7	13.2	17.4	13.8
16	Count 7	23	1	31
	% (Direction) 22.6	74.2	3.2	100.0
	% (Layer) 13.7	17.8	4.3	15.3
32	Count 10	17	3	30
	% (Direction) 33.3	56.7	10.0	100.0
	% (Layer) 19.6	13.2	13.0	14.8
64	Count 12	19	1	32
	% (Direction) 37.5	59.4	3.1	100.0
	% (Layer) 23.5	14.7	4.3	15.8
128	Count 1	15	3	19
	% (Direction) 5.3	78.9	15.8	100.0
	% (Layer) 2.0	11.6	13.0	9.4
전체	Count 51	129	23	203
	% (Direction) 25.1	63.5	11.3	100.0
	% (Layer) 100.0	100.0	100.0	100.0

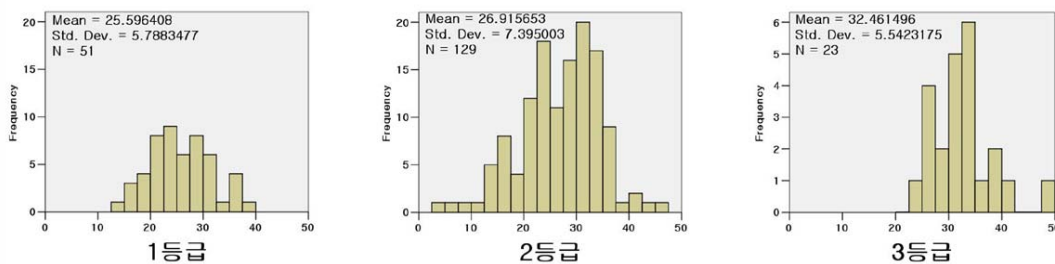


FIGURE 9. 위험등급별 경사도에 따른 발생 빈도

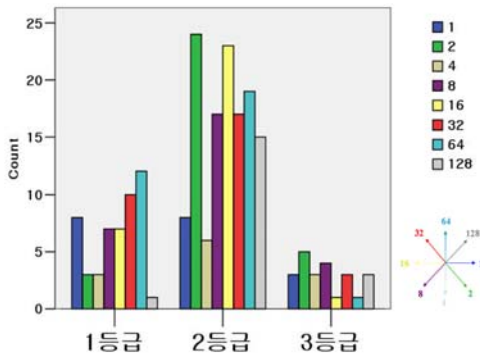


FIGURE 10. 위험등급별 경사방향에 따른 발생 빈도

산사태 위험도 등급별 경사방향을 분석한 결과(표 9.) 1등급 지역에서는 북쪽으로 12곳(23.5%)으로 발생빈도가 가장 높으며 북서쪽 10곳(19.6%), 동쪽 8곳(15.7%), 남서쪽과 서쪽으로 각각 7곳(13.7%)에서 발생하였다. 2등급 지역은 남동쪽으로 가장 많은 24곳(18.6%)이 발생하였으며 다음으로 서쪽 23곳(17.8%), 남서쪽과 북서쪽으로 각각 17곳(13.2%)에서 발생하였다. 3등급 지역은 남동쪽으로 가장 많은 5곳(21.7%)이 발생하였으며 북서쪽 4곳(17.4%), 동쪽과 남쪽, 북서쪽, 북동쪽으로 각각 3곳(13.0%)에서 발생하였다.

전체적인 경향은 1등급 지역 북서방향 56.8%, 남동방향 27.5%로 발생하였으며, 2등급 지역 북서방향 45.7%, 남동방향 29.5%, 3등급 지역은 북서방향 21.6%, 남동방향 47.7%로 발생하였다. 1등급에서 3등급 지역으로 갈수록 북서방향으로 발생 빈도가 줄고 남서 방향으로 발생 빈도가 늘어났다. 따라서 경사 방향에 따른 가중치를 부여해 산사태 위험 인자로 활용하면 보다 정확도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

4. 위험도 등급별 하천장 분석

경사길이는 산사태 위험인자 중 가장 중요한 인자이다. 산사태 위험지도는 수치지형도에서

수계를 추출한 후 각 능선부의 최단 지점까지의 거리를 산출하여 제작하였다. 하지만 유수의 흐름이 직선이 될 수 없기에 본 연구에서는 GIS의 하계망 분석 방법을 활용하여 하천장(최단 능선으로부터 각 지점까지 흐르는 하천의 길이)을 획득하였다.

유수의 흐름 방향인 Direction을 토대로 ArcView 3.3 프로그램의 Hydro Extension을 이용하여 flow length (GRID)를 생성하여 산사태 지역 Polygon을 중첩 각 영역의 하천장에 대한 데이터를 획득하였다.

TABLE 10. 위험등급별 하천장 분석표

하천장(m)	1등급	2등급	3등급
	통계량	통계량	통계량
평균	46.34	51.09	44.60
평균의 95% 신뢰구간	35.92 (하한)	43.76 (하한)	34.55 (하한)
	56.76 (상한)	58.42 (상한)	54.64 (상한)
5% 절삭평균	42.28	45.60	42.98
중위수	32.83	40.28	39.60
분산	1373.06	1770.19	539.57
표준편차	37.06	42.07	23.23
최소값	6	4	20
최대값	208	285	99
범위	202	281	79
사분위수 범위	35	38	28
왜도	2.17	2.71	0.98
첨도	6.46	10.28	0.03

하천장에 따른 산사태 위험도 등급별 분석 결과(표 10) 1등급 지역은 평균의 95%신뢰구간에서 35.92m~56.76m의 범위로 분포하며 평균 46.34m에서 발생하였고 2등급 지역은 43.76m~58.42m에서 평균 51.09m, 3등급 지역은 34.55m~54.64m에서 평균 44.60m에서 발생하였다.

산사태 위험도 판정표의 경사길이 가중치를 하천장 데이터와 비교하면 1등급에서 3등급으

로 갈수록 하천장의 길이가 길어져야 된다. 하지만 산사태가 발생 빈도가 가장 높은 2등급 지역의 평균 하천장이 가장 길었고 1등급, 3등급 지역 순으로 하천장이 짧아졌다. 그러므로 현재 제작된 산사태 위험도의 경사길이에 대한 가중치가 적용 되지 않은 것으로 판단되며 하천장의 길이에 대한 산사태 발생 빈도가 연관성이 있는 것으로 분석되기 때문에 하천장에 대한 자료를 이용하여 산사태 위험도의 정확도를 높여야 될 것으로 사료된다.

5. 위험도 등급별 유역면적 분석

경사방향(flow direction) GRID를 바탕으로 ArcView 3.3 프로그램의 Map Calculator을 이용하여 누가흐름도(Flow accumulation)를 생성하였다. 유역면적은 누가흐름도(Flow accumulation), X(셀의 X축 방향간격 : 2m), Y(셀의 Y축 간격 : 2m)를 곱하여 산정된다(최철웅, 1999). 따라서 누가흐름도로 유역면적을 나타내었다.

TABLE 11. 위험등급별 유역면적 분석표

유역면적	1등급	2등급	3등급
	통계량	통계량	통계량
평균	50.94	97.78	45.35
평균의 95% 신뢰구간	31.51 (하한)	25.26 (하한)	24.91 (하한)
	70.37 (상한)	170.29 (상한)	65.78 (상한)
5% 절삭평균	42.06	43.45	41.02
중위수	19.00	27.00	24.00
분산	4772.06	173280.16	2233.06
표준편차	69.08	413.27	4.26
최소값	3	3	9
최대값	286	4547	162
범위	283	4544	153
사분위수 범위	35	38	44
왜도	2.01	9.86	1.53
첨도	3.22	104.23	1.16

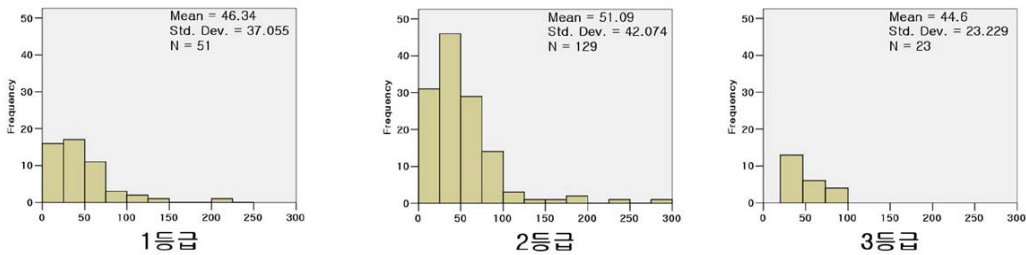


FIGURE 11. 위험등급별 하천장에 따른 발생 빈도

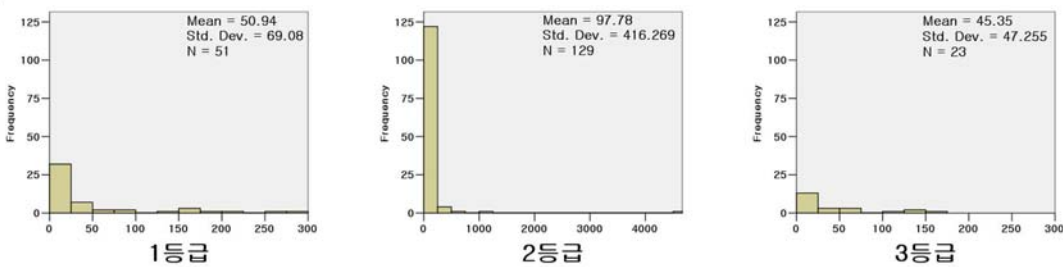


FIGURE 12. 위험등급별 유역면적에 따른 발생 빈도

유역면적에 따른 산사태 위험도 등급별 분석 결과(표 11) 1등급 지역은 평균의 95%신뢰구간에서 $126.04\text{m}^2 \sim 281.48\text{m}^2$ 의 범위로 분포하며 평균 203.76m^2 에서 발생하였고 2등급 지역은 $101.04\text{m}^2 \sim 681.16\text{m}^2$ 에서 평균 391.12m^2 , 3등급 지역은 $99.64\text{m}^2 \sim 263.12\text{m}^2$ 에서 평균 181.4m^2 에서 발생하였다. 산사태 위험도 등급별 분석결과 발생빈도가 높은 2등급 지역의 유역면적이 가장 넓고 빈도가 낮을수록 유역면적이 작아졌다. 이는 유역면적이 산사태 발생 빈도에 큰 영향을 미친다는 것으로 사료된다. 그러나 각 영역별 유역면적이 커질수록 산사태 위험도는 높아지므로 1등급 지역의 유역면적이 가장 넓어야 한다. 하지만 분석 결과 2등급지역의 유역면적이 가장 넓고 1등급, 3등급 순으로 분석되었다. 이는 현재 제작된 산사태 위험지도의 유역면적에 대한 요인이 고려되지 않았다고 판단되며 유역면적이 산사태 위험성 판정표의 요인으로 추가되면 산사태 위험지도의 정확도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

PKNU 3호 영상에서 추출된 산사태 발생지와 산사태 위험도를 비교하여 붕괴지의 위험도를 판독하였다. 1등급 지역은 24.2%~8.3%, 2등급 지역은 63.3%~52.1%, 3등급 지역은 36.3%~12.5%, 4등급은 3.3~0%로 판독되었고 그 중 산사태 위험도 상대적으로 높은 1~2등급인 지역이 60.4%~87.5%였다. 그러나 연구지역 누가 1, 2등급 63.6%을 고려할 때 상관성이 다소 낮게 볼 수 있으므로 향후 위험지도의 작성에 필요한 기본적인 이론 및 기법을 전국적인 자료를 적용하여 기존 사용하는 산사태 위험지도 작성항목에 대한 수정·보완과 등급별 단위 %량의 조정에 대한 연구가 필요하다. 또한 산사태 위험지 판정표를 기준

으로 산사태 위험도와 산사태 붕괴지의 특성을 비교·분석한 결과 현재 제작된 위험지도는 산사태 위험 인자 중 경사각이에 대한 가중치가 제대로 적용되지 않은 것으로 사료되며, 경사도는 산사태 위험성이 높은 등급의 경사도가 평균 $25.30^\circ \sim 26.92^\circ$ 에서 발생 하였으나 판정표의 가중치는 $0^\circ \sim 25^\circ$ 에 최고 가중치가 부여된다. 따라서 판정표의 경사도에 대한 가중치 수정이 필요하며 경사 방향, 하천장, 유역면적은 발생 빈도에 따른 특성을 가지므로 향후 수문학적 산사태 위험 요인으로 추가하여 산사태 위험지도의 정확성을 높일 수 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

참 고 문 헌

- 강인준, 장용구, 광재하, 1993, 지형정보시스템을 이용한 산사태 예측, 한국측지학회지 11(2): 53-58.
- 이사로, 김윤중, 민경덕, 2000, 산사태 공간 정보 시스템 개발 및 산사태 공간 정보의 활용, 한국GIS학회지 8(1):141-153.
- 이은경, 2005, 소형 다중분광 항공촬영시스템 (PKNU3호)개발 및 환경원격탐사 가능성 평가에 관한 연구, 부경대학교 공학석사 학위논문. 5-13쪽.
- 이진덕, 연상호, 김성길, 이호찬, 2002, 산사태의 발생가능지 예측을 위한 GIS의 적용, 한국지리정보학회지 5(1):38-47.
- 이천용, 최경, 이종학, 이창우, 2002, GIS를 이용한 산사태 위험지도 작성기법 개발, 산림과학 논문집 65:1-10.
- 최철웅, 1999, 지형공간정보체계를 이용한 수문지형인자 결정에 관한 연구, 부산대학교 공학박사 학위논문. 37-48쪽.
- 지광훈, 신진수, 박노옥, 2001, 예측비율곡선을 이용한 GIS 기반 산사태 예측 모델의 정량적 비교, 대한원격탐사학회지, 17(3), 199-210.
- 최경. 1986. 한국의 산사태 발생요인과 예지에

관한 연구. 강원대 박사학위논문. 6-9쪽

Chan, K.T., Y.I. Sze, M.K. Fung, W.Y. Wong, E.L. Fong and L.C.P. Chan. 2004, Landslide hazard analysis for Hong Kong using Landslide inventory and GIS. Computers

and Geosciences. 30(4):429-443.

J. Mackean, s. Burchel, and L. Gaydos, 1991, Remote sensing and Landslide Hazard Assessment, PE & RS, 57(9):1185-1193.

The logo for KAGIS, consisting of the letters 'KAGIS' in a bold, sans-serif font, with a horizontal line through the middle of the letters.