Korean Journal of Remote Sensing, Vol.25, No.5, 2009, pp.445~454

SPOT5영상과 GIS분석을 이용한 인제 지역의 산사태 특성 분석

오치영* · 김경탁** · 최철웅*†

*부경대학교 위성정보과학과, **건설기술연구원 수자원연구실

Analysis of Landslide Characteristics of Inje Area Using SPOT5 Images and GIS Analysis

Che-Young Oh*, Kyung-Tag Kim, and Chul-Uong Choi*†**

*Department of Satellite Information Science, Pukyong National University, **Korea Institute of Construction Technology

Abstract : Localized unprecedented torrential rain and heavy rainfall cause repeated damages and make it difficult to detect and predict the landslide caused by heavy rainfall. To analyze the landslide characteristics of Inje area this study used satellite images photographed after the occurrence of landslide caused by the typhoon Ewiniar occurred in July, 2006, and for GIS analysis purpose, interpreted the satellite images (SPOT5) visually to digitize into developing parts, water traveling parts and sediment parts. For analysis of spatial characteristics, landslide areas obtained from visual interpretation of digital map, 3rd & 4th forest vegetation maps and detailed soil map and grids were overlaid and analyzed. As a result, in regard to topographic features, landslide occurred at places, of which average slope is 26.34°, had south, south-east, south-west aspects and average altitude of 627m. From hydrological analysis, it was found out that water traveling area rapidly spread approaching water traveling area and sediment area. From forest type analysis, it was found out that landslide occurrence was high in pine woods, and in terms of girth class attribute, landslide occurred in small-sized woods, in which the crown occupancy of trees that have the diameter at breast height, 6~16cm, was greater than 50%. From the analysis of soil series, landslide areas constitute 37.85% of OdF and 37.35% of SmF, which had sandy loam soil and excellent drainage capacity. Through this study, landslides in Inje area were characterized and SPOT5 images of 2.5m resolution could be used. But there was a difficulty in determining water traveling parts adjacent to urban area.

Key Words : satellite images, spot5, landslide, slope geometry, forest map, Gangwon-do.

요약 : 최근 기후변화로 인해 국지적 기습 폭우와 집중 호우로 피해가 속출하며, 인제 지역과 같은 산간 지방의 경우 폭우로 인한 산사태의 탐지와 예측에 어려움을 두고 있다. 본 연구는 인제 지역의 산사태 탐지와 예측을 위한 특성을 분석하고자 2006년 7월 태풍 에위니아로 인해 산사태 발생 후 촬영된 위성영상을 이용하였고, GIS 분석을 위해 위성영상(SPOT5)을 육안 판독하여 발달부, 유하부, 퇴적부로 디지타이징 하였다. 공간적 특성 분석을 위해 수치지도, 3 · 4차 임상도, 정밀토양도를 육안판독한 산사태 지역과 그리드 중첩 분석 하였다. 그 결과 인제 지역의 지형적 특성은 경사도 평균 26.34°에서 발생하고, 경사 방향은 남향 · 남동 · 남서향이며 고도는 평균 627m에서 발생하였다. 수문학적 분석 결과 유하지, 퇴적지로 갈수록 유하

접수일(2009년 6월 16일), 수정일(1차 : 2009년 8월 30일), 게재확정일(2009년 10월 20일).

† 교신저자: 최철웅(cuchoi@pknu.ac.kr)

면적이 급격히 퍼짐을 나타내었고, 임상학적 분석결과 소나무림의 발생률이 크며 경급속성에 따라 흉고직경 6~16cm의 임목 수관정유 비율이 50% 이상인 소경목 에서 산사태가 발생함을 알 수 있었다. 토양통 분석 결과 사양질 이고 배수능력이 뛰어난 OdF(오대) 37.85%, SmF(삼각) 37.35% 로 나타났다. 본 연구를 통해 인제 지역 일대의 산사태 특성을 알 수 있었고, 2.5m 급의 SPOT5 영상의 활용이 가능했다. 하지만 고해상도 영상에 비해 시가지와 인접한 유하부 판단에 어려움이 있었다.

1. 서 론

국토의 65%인 산지 특성을 가진 우리나라는 최근 지구 온난화의 영향으로 국지성 호우 및 집중 강우로 인한 산사태가 발생한다. 특히 인적이 드문 산지 지방의 경우 산사태 발견의 어려움으로 복구가 늦어 2차 피해가 발생한다. 2006년 7월 제3호 태풍 에위니아의 영향으로 인제지역의 최대강우량은 202.0mm, 일일 누가 강우량 597.5mm에 달하는 집중 호우를 기록하였고, 이로 인해 인제, 평창 등에서 대규모 산사태가 발생해 사상자 48명, 가옥 침수 1,248채 재산피해 3조 5,125억원에 이르는 복구비용이 발생했다(유병욱 등, 2006; 김경수 등, 2006). 자연적 · 인위적 영향에 의해 발생하는 산사태의 예방과 2차 피해를 막기 위한 복구를 위해 산사태 발생의 특성 파악이 중요하다. 산사태 발생지역의 탐지 방법의 경우 중국에서는 SPOT영상의 NDVI값을 이용해 Ta-an강 유역의 식생지역과 비 식생지역을 구분하여 산사태지역을 관측하였고(Hui-Chung Yeh, 2003), 대만에서는 지상 LiDAR를 사용하여 3D지형모델을 제작 후 산사태에 대한 대비 및 발생한 산사태의 피해면적 산출에 활용 하였다(K.H.Hsiao, 2004). 산사태 발생 후 분석 방법에 있어 산사태 취약지 평가에 산사태 유발인자들의 경중률을 계산하고(Thomas L. Satty, 1980), 기존 산사태 지역의 환경인자를 조사하여 통계 분석을 통해 사면의 위험도를 판정하여 산사태 발생 지역을 예측하였다(Brand, 1985; Wakens, 1986).

국내의 경우 조남춘 등(2006)은 산사태 탐지와 분석에 있어 자체 제작한 촬영시스템을 이용하여 산사태를 탐지해 GIS분석을 통해 산사태 지역의 특성을 파악 하였고, 지광훈 등(2001)은 위성영상과 현장답사를 통하여 산사태 발생위치를 파악하여 GIS기반의 다양한 산사태 관련 공간정보를 구축 하였으며 최근 산사태 피해를 줄이기 위한 예방에 관해 박재국(2008)은 지상 LiDAR, 정재훈(2008)은 InSAR 영상을 이용한 모니터링 기법 연구가 선행되었다.

본 연구는 광범위한 산사태 발생지역의 특성을 분석하기 위해 환경부에서 제공받은 2.5m SPOT5(pan-sharpende) 위성영상을 활용하여 산사태 발생 지역을

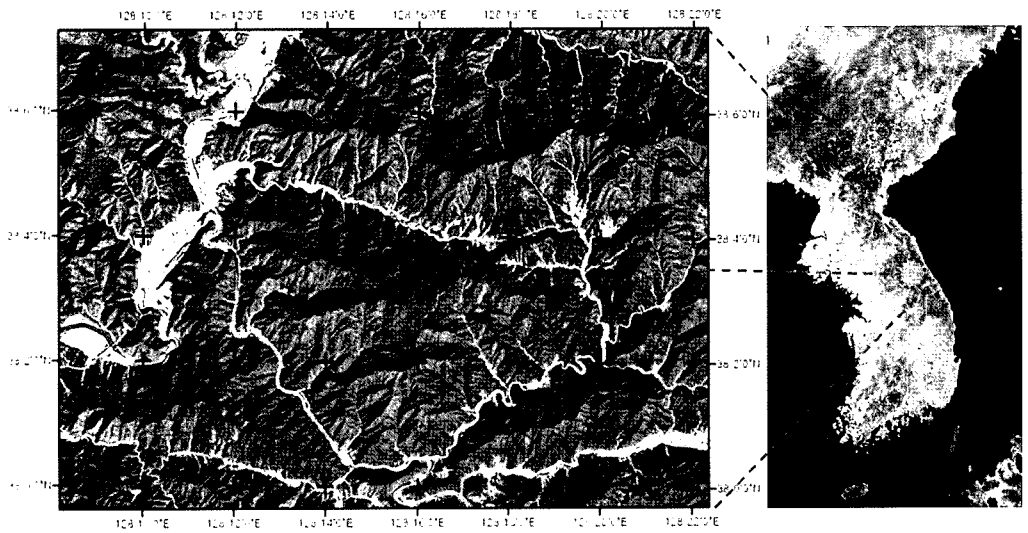


Fig. 1. Study area (Inje-gun, Gangwon-do, S.korea).

탐지하고 임상도, 토양도, 수치지형도를 이용하여 산사태 발생지역의 통계적 자료를 구축하여 인재 지역 일대의 산사태 특성을 분석하였다.

2. GIS를 이용한 산사태 지역 추출

1) 연구지역

연구지역의 공간적 범위는 강원도 인제 지역 일대의 북한강 상류지역으로, 설악산과 방태산, 소양호와 내린천 등 91%가 산과 강으로 형성 되어 레프팅과 각종 축제로 인해 전국 최고의 자연체험 관광지로 유명하다 (Fig. 1).

시간적 범위는 2006년 7월 중순 발생한 집중호우와 한반도에 상륙한 태풍 에위니아의 영향으로 7월 16일, 1일 최다 강수량 202mm를(기상청) 기록한 강원도 인제군 인제읍의 남면, 북면, 기리면 일대이다.

2) 자료구축

본 연구를 위해 환경부에서 제공받은 강원도 인제 지역의 해상도 2.5m급 SPOT5(pan_sharpende)영상과 (면적: 286,801,200m^2) 수치지도가 사용되었고, 산림청의 임상도와 농촌진흥원의 정밀토양도 등 산사태 발생을 규명할 수 있는 각종 수치지도 자료를 Table 1과 같이 구축했다. 연구의 흐름은 Fig. 2와 같다. 1단계는 자료구축과정으로 SPOT5영상은 정밀정사투영과정을 완료하여 제공된 자료이나 정확도 검증을 위해 1/25,000 수치지형도를 이용해 Coverage를 제작하여 확인한 결과 기존의 수치지도와 정확하게 중첩되었다. 2단계는 정사투영된 영상을 기준으로 육안판독에 의한 산사태지역을 디지타이징하고, 이를 발생부, 유하부, 퇴적부로 나누어 공간데이터를 구축. 3단계는 GIS 분석을

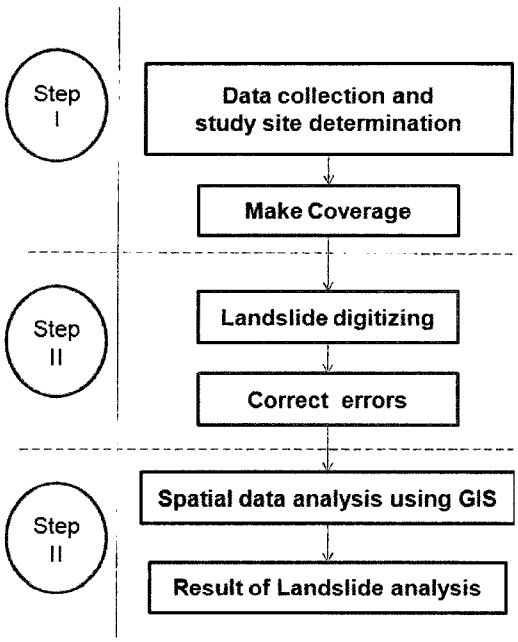


Fig. 2. The research flowchart.

위해 임상도, 토양도, 지형도와 산사태 발생지역의그리드 중첩후 각 특성 인자 값을 데이터베이스로 구축하여 SPSS 13.0 프로그램을 이용 통계적 특성을 분석하였다.

3) 산사태 추출

산사태는 토양이나 암석이 응집력이 약해져 일시에 붕괴되는 현상을 말하며, 산사태유형에 따라 낙반, 전도, 활동, 측면퍼짐 및 유동으로 분류된다(UNESCO, 1990).

본 연구는 위성영상에서 육안판독이 가능한 산사태가 발생한 발달지와 유하해 내려가는 유하지, 유하 후 퇴적된 퇴적지로 분류했다. 광범위한 현지조사의 어려움의 대안으로 산사태 발달지는 영상과 수치지도를 중첩시켜 계곡 지역까지 선정하고 유하지는 시작점에서 그 폭이 줄어들기에 이를 구분하고 유하지와 퇴적지의 경계는 변곡점을 기준으로 구역별 Level을 달리해 Digitizing

Table 1. Data collection

분석방법	자 료 명	발 행 처	축 척	매수	분석 방법	해상도
지형적	수치지형도	국립지리원	1/25,000	2	경사도, 경사방향, 고도	5m
수문학적					하천장, 유역면적, Horton차수	5m
임상학적	3 · 4차임상도	산림청	1/25,000	2	영급, 경급, 밀도, 수종	5m
토양학적	정밀토양도	농촌 진흥원	1/50,000	2	토양종류, 표토특성, 유효토심	5m
영상분석	SPOT5	환경부	1/25,000	2	산사태지역 탐지	2.5m

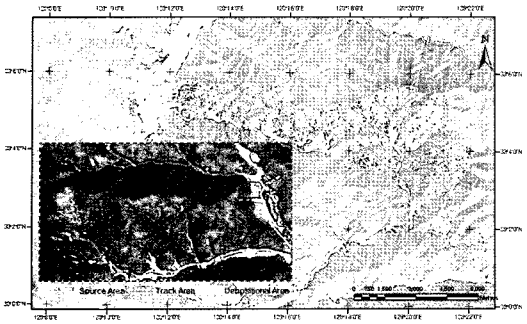


Fig. 3. Digitizing of Landslide territory.

하였다. 그 결과 발달지 1,115개(135733.9m^2), 유하지 445개(1144972.4m^2), 퇴적지 218개(340026.7m^2)를 추출하였다(Fig. 3).

3. GIS를 이용한 산사태 특성 분석

기존의 산사태 위험지도 제작에 사용되는 산사태 판정인자인 지형인자, 임상인자, 토양인자, 지질인자로 구분 된다(2005, 산림청). 본 연구는 지형인자, 임상인자, 토양인자를 사용하였다. 지질인자의 경우 소규모 지역 분석에 미흡하다고 판단하여 사용하지 않았다. 그리고 3차 임상도를 중심으로 한 임상분석 결과와 4차 임상도의 수종을 비교 분석하였고, 정밀토양도의 토성, 토종에 관한 부분을 추가하였다. 산사태 지역에 대한 통계학적 분석은 SPSS 13.0으로 실시하였다.

1) 지형학적 인자분석

지형의 사면붕괴 분석요인 중 가장 중요한 사면의 기하학적 형태(slope geometry)를 결정해 줄 뿐만 아니라 산사태 자체가 지형발달의 한 과정이다(Jognes, 1983) 산사태 분석에 중요한 경사도(slope)는 수치지도에서 생성된 DEM과 Slope를 GRID화 하여 Raster 중첩을 통해 각 경사도에 대한 자료를 획득 하였다. 구역별 경사 분석결과 Table 2와 같이 붕괴지의 경우 평균의 95% 신뢰구간에서 25.79°~26.89°에 분포하고 평균 26.34°에서 발생하였다. 유하지는 23.34°~24.64°에 분포하며 평균 23.99°이고 퇴적지는 15.10°~17.17° 분포하며 평균 경사도는 16.14°이다. 평균 26.34°에서 발생한 산사태는 23.99°로 유하되어 16.14°에 퇴적됨을 알 수 있다. 고도 자료 또한 GRID 변환후 Raster 중첩한 결과 Table 2와 같다. 붕괴지는 평균의 95% 신뢰구간에서 613.6m~640.3m 범위로 평균 627.0m에서 발생하여 평균 584.7m로 유하, 평균 452.8m에 퇴적되었다(평균

Table 2. Analysis results of descriptive statistics for slope and altitude in each stage of landslide

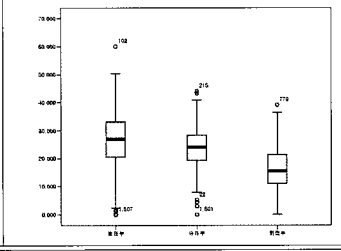
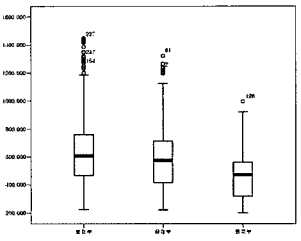
구 분	경사도(°)			고도(m)		
	발단부	유하부	퇴적부	발단부	유하부	퇴적부
Mean(평균)	26.3	23.9	16.1	627.0	584.7	452.8
95% CI for Mean Lower	25.7	23.3	15.1	613.6	564.7	431.7
95% CI for Mean Upper	26.8	24.6	17.1	640.3	604.6	473.8
5% Trimmed Mean	26.5	24.0	16.0	616.9	574.4	447.1
Median	26.7	23.9	15.5	607.0	576.5	470.2
Variance	87.5	48.8	60.6	51,595.0	45,777.2	24,847.1
Std. Deviation	09.3	06.9	7.7	227.1	213.9	157.6
Minimum	0.0	0.0	0.0	223.9	221.3	201.0
Maximum	60.1	44.0	39.1	1,448.5	1,321.6	994.8
Range	60.1	44.0	39.1	1,224.6	1,100.2	793.7
분포 형태						

Table 3. Analysis results of aspect (unit: %)

경사방향	발달부	유하부	퇴적부	평균
남	20	23	16	20
남동	24	19	15	19
남서	14	14	6	11
동	17	20	22	20
북	5	1	7	4
북동	5	7	19	10
북서	6	4	6	5
서	9	12	9	10
총합계	100	100	100	100

해수면 기준).

산지의 경사방향은 산사태의 중요한 인자로 산지 사면의 일조시간과 밀접한 관련이 있고 일조시간은 사면 토양의 수분상태, 식생 및 풍화정도 차이를 유발시켜 토양의 응집력과 안정성에 영향을 미친다(조남춘 등, 2006). 산사태의 경사방향을 분석하기 위해 Arc View GIS 3.3을 이용해 하천의 전체적인 흐름 방향(Flow aspect)을 분석하였다.

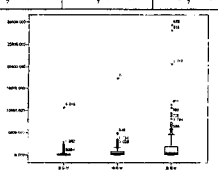
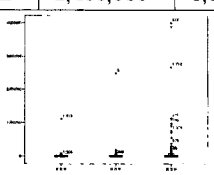
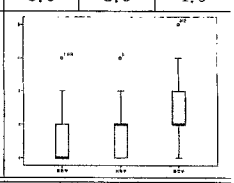
경사방향 분석결과 발달부는 남향, 남동향에서 20% 이상 발생 하며 남향, 동향으로 유하 동향 북동향에 퇴적됨을 알 수 있었다(Table 3).

2) 수문학적 인자분석

산사태 위험지도의 흐름장 분석은 수치지형도에서 수계를 추출해 각 능선부의 최단 지점까지의 거리를 산출하여 제작한다. 그러나 유수의 흐름이 직선이 될 수 없어 GIS의 하계망 분석 방법을 활용하여 흐름장을 분석하였다. 산사태 구역별 흐름장 분석 결과 붕괴지의 평균 95% 신뢰구간은 154.83m~202.87m로 분포하며 평균 178.75m로 분석되었다. 유하부는 546.17m~798.99m로 분포하며 평균 627.58m이고 퇴적지는 1,171.84m~2,107.69m으로 분포하고 평균 1,639.76m로 분석되었다. 위성영상과 GIS 기법을 활용한 흐름장의 분석을 통하여 Table 4와 같이 산사태 발생 지역의 붕괴지, 유하지, 퇴적지의 구분하였다. 유역면적은 GRID의 X(셀의 X축 방향간격:5m), Y(셀의 Y축 간격:5m)를 곱하여 산정하여 누가흐름도를 이용해 유역면적을 표현했다. 흐름 경향(Flow Direction) GRID를 바탕으로 Arcview 3.3 프로그램의 Map Calculator를 이용해 생성한 유역 면적(Flow accumulation)은 Table 4와 같다.

산사태 구역별 유역면적 분석 결과 붕괴지는 평균의 95% 신뢰구간에서 155.76m^2~525.32m^2 범위로 나타났고 평균 341.52m^{2}이다. 유하지는 6,606.72m^2~20,845.96m^{2}로 평균 13,726.56m^{2}으로 나타났고 평균 335,567.12m^{2}로 퇴적되었다. 산사태 구역별 유하면적 분석을 통하여 붕괴지에서 유하지, 퇴적지로 갈수록 유하면적이 급격히 커짐을 알 수 있다.

Table 4. Results of descriptive statistics of flow fields and basin area in each stage of landslide

구 분	흐름장(m)			유역면적(m^2)			Horton 차수		
	발단부	유하부	퇴적부	발단부	유하부	퇴적부	발단부	유하부	퇴적부
Mean	178	672	1,639	1,818	19,978	103,857	1.4	1.6	2.3
95% CI for Mean Lower	154	546	1,171	-143	4,370	44,509	1.2	1.5	2.0
95% CI for Mean Upper	202	798	2,107	3,779	35,586	163,204	1.6	1.7	2.5
5% Trimmed Mean	126	500	1,077	140	5,167	26,829	1.3	1.5	2.2
Median	100	288	403	25	548	1,041	1.0	2.0	2.0
Std. Deviation	407	1,356	3,505	33,386	167,526	444,581	0.7	0.7	1.0
Minimum	5	14	20	1	2	4	1.0	1.0	1.0
Maximum	10,614	17,363	29,427	1,103,912	2,488,590	3,990,378	4.0	4.0	5.0
Range	10,609	17,349	29,407	1,103,911	2,488,588	3,990,374	3.0	3.0	4.0
분포 형태									

Horton이 제시한 하천 차수법칙은 하도의 개수와 길이 등에 관한 지형법칙으로 정량적 분석이 가능하고, Strahler(1952)가 개선 시켜 유역의 형태학적 성질을 분석할 수 있다. 우리나라 산사태의 경우 지속된 강우에 의해 발생이 나타나 빗물의 유하에 따른 토석류의 이동에 대한 정성적 파악을 위해 Horton 차수를 적용하여 분석한다.

본 연구에서는 산사태의 시작점을 1차로 하여 차수가 N인 2개의 산사태가 만나서 이루어진 산사태의 차수는 N +1차로 정의 하는 America System 방식을 이용하였다. 분석한 결과 유하지역은 1~4차수(1.64), 퇴적지역은 1~5차수(2.28)로 분석되었다. Fig. 4와 같이 GIS 기법을 이용해 산사태 발생지역의 Horton 차수 분석 가능하며 산지 토사재해 예방대책 수립에 판단 기준으로 활용가능하다.

3) 임상학적 분석

임상도는 산림청의 산림자원조사 사업에 의해 제작되며 국토지리정보원의 1:25,000 수치지형도의 위치 오차범위와 같은 ±17.5m의 기준한 수치지도로 약5년 단위의 전국적 사업에 의해 제작된다. 본 연구에 사용된 임상도는 1:25,000 축척의 2개 도엽 이고 3차 임상도는 1990년대 후반, 강원도 지방의 4차 임상도는 2006년 기준으로 제작되었다.

3차, 4차 임상도의 임상(수종) 분포 분석 결과 Table 5와 같고, 침활혼림의 경우 전체 면적의 36.16% 에서 42.96% 로 약 6%정도 증가했고, 소나무림은 약 9%정도 감소했다. 이는 산사태가 소나무림에서 발생 한 것으로 판단된다. 3차, 4차 임상도의 면적 변화는 Fig. 5와 같다. 2006년 제작된 4차 임상도와 Digitizing된 산사태 지역을 Raster 중첩 분석한 결과 발달부중 소나무림 38.21%, 활엽수림 22.79%, 침활혼효림 17.48% 로 소나무림에서 산사태가 많이 발생했다. 유하부는 소나무림에서 38.21%, 활엽수림 22.79%, 침활혼효림 17.48%로 나타났고 퇴적부는 임상이 없는 곳으로 판단되었다.

임상도의 경급 속성은 나무의 두께로(가슴 높이: 1.2m) 직경에 따라 치수, 소경목, 중경목, 대경목 으로 구분 되어 나무의 성장 정도와 토지 중에 나무가 차지하는 수관점유 비율을 뜻한다. 3차, 4차 임상도의 경급 속

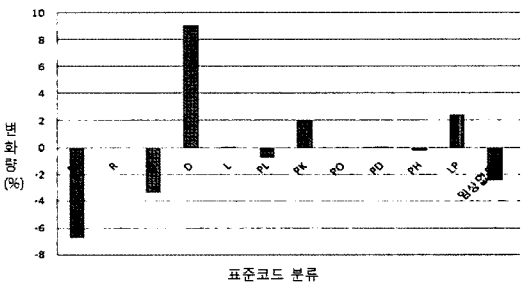


Fig. 5. Areal changes in 3rd and 4th forest maps.

Table 5. Total area of forest distributed as on the 3rd and 4th forest maps, and area in each landslide developmental stage

	변환코드	구 분	표준코드	3차, 4차 전체		발 단 부		유 하 부		퇴 적 부		산사태전체	
				면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%
3차임상도	1	침활혼효림	M	103,695,725	36.16	27,241.03	20.07	373,788.84	32.65	32,717.64	9.62	433,747.50	26.76
	생 략												
	4	소나무림	D	88,460,725	30.84	54,614.21	40.24	389,654.64	34.03	83,635.62	24.60	527,904.47	32.57
	5	경작지	L	4,658,450	1.62	1,336.93	0.98	11,731.94	1.02	79,099.89	23.26	92,168.76	5.69
	6	낙엽송림	PL	14,035,075	4.89	8,604.47	6.34	44,125.30	3.85	13,232.57	3.89	65,962.34	4.07
	7	잣나무림	PK	14,750,975	5.14	17,723.24	13.06	215,484.00	18.82	23,389.55	6.88	256,596.78	15.83
	생 략												
	12	임상없음	-	20,951,075	7.31	3,892.46	2.87	7,064.98	0.62	92,213.24	27.12	103,170.68	6.37
4차임상도	1	침활혼효림	M	123,199,025	42.96	23,729.88	17.48	197,739.13	17.27	44,427.70	13.07	265,896.72	16.41
	2	제지	R	1,592,375	0.56	1,248.30	0.92	2,976.45	0.26	16,335.06	4.80	20,559.82	1.27
	3	활엽수림	H	39,346,275	13.72	30,937.34	22.79	248,453.93	21.70	3,237.56	0.95	282,628.82	17.44
	4	소나무림	D	62,391,225	21.75	51,861.12	38.21	357,359.30	31.21	71,880.88	21.14	481,101.31	29.68
	생 략												
	12	임상없음	-	27,900,425	09.73	4,041.45	02.98	15,360.09	01.34	148,850.36	43.78	168,251.90	10.38

Table 6. Histogram in each stage of landslide according to the attributes of diameter and age of wood in the 3rd and 4th forest map

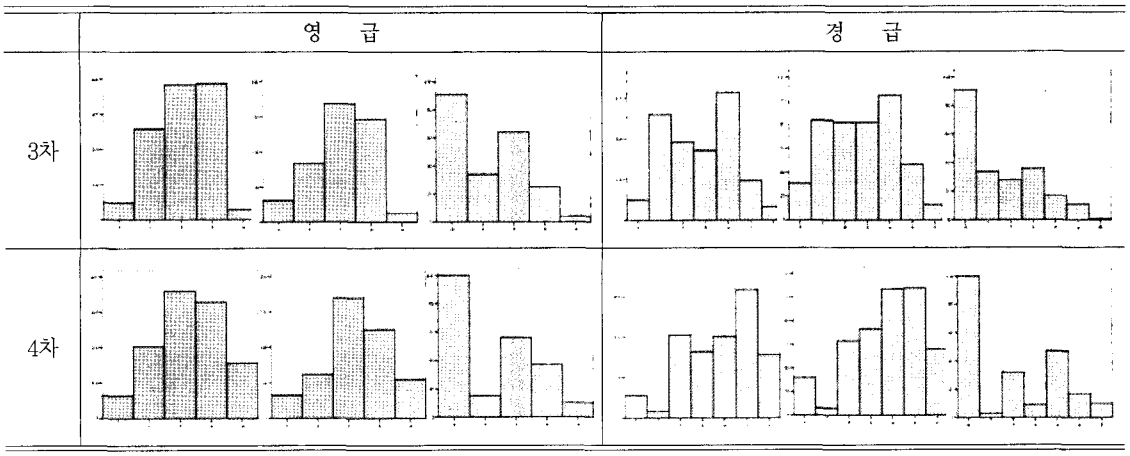
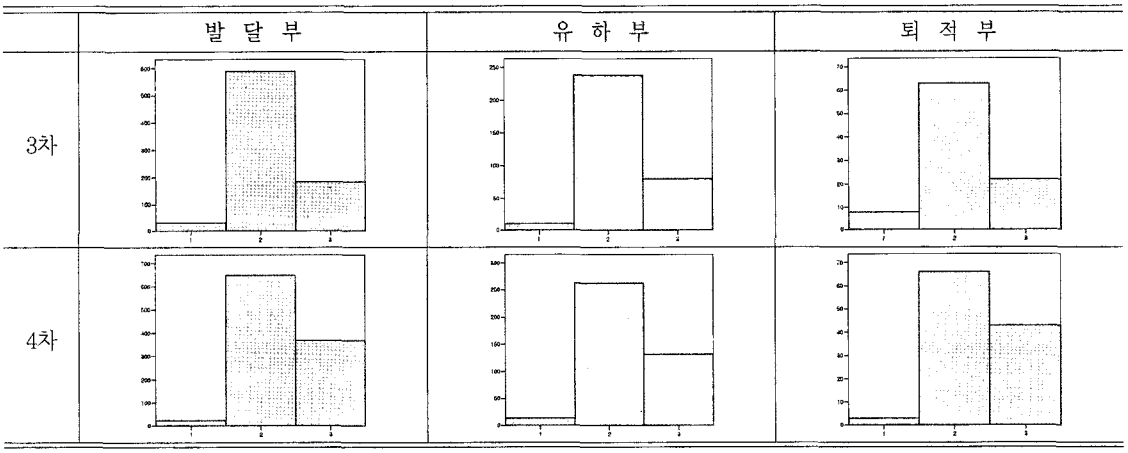


Table 7. Histogram for the attribute of wood density on the 3rd and 4th forest type maps in each stage of landslide development



성 분석 결과 Table 6과 같고, 소경목에서 산사태가 주로 발생하였다.

임상의 영급 속성은 나무의 나이를 수령에 따라 10년 단위로 1~6영급으로 구분한 것으로 수관점유 비율이 50%이상인 임분을 뜻한다. 영급 속성의 GRED 자료와 산사태 지역을 Raster 중첩 분석결과 Table 6과 같고, 3차의 경우 평균 2영급에서 발생, 4차는 평균 3영급에서 발생 했다. 산사태가 주로 발생한 지역은 2영급에서 3영급으로 10~30년생의 입목 지역이다. 임상도의 소밀도 속성은 나무의 분포 비율에 따라 소, 중, 밀도로 구분한다. 나무의 분포는 지반의 Flow와 Slump의 억제 인자로 산사태 예방에 중요하다. 연구지역의 소밀도 분포는 최소 1, 최대 3을 나타내었고, 산사태 지역의 분석 결과 발달부의 3차 평균 2.19, 4차 평균 2.33으로 소밀도(중)로 Table 7과 같다.

4) 토양학적 인자분석

정밀토양도는 국토지리정보원에서 발간한 수치지형도(1:5000)에 기준하여 제작되어 토양의 종류에 따라 토양의 이름을 구별하기 쉽도록 구분한 것으로 우리나라에서 밝혀진 것은 390종이 있다. 토양은 공기와 물이 각각 25%정도, 그 외 50%정도가 고형물(고상, 무기물과 유기물)로 이루어져 있다. 그러나 토양의 종류에 따라 그 상대적인 비율은 약간씩 다르다(흙토람, 2009). 정밀토양도 1:25,000 2개 도엽을 이용해 산사태 단계별 토양통의 분석 결과 Table 8과 같다.

발달부의 경우 OdF 37.85%, SmF2 37.35%가 나타났고, 유하부는 OdF 35.59%, SmF2 42.73%로 분석되었다. OdF과 SmF2는 사양질 이고 배수능력이 매우 뛰어나 산사태 발생에 많은 영향을 준 것으로 판단된다.

표토 토성 분포에 따른 산사태의 전체 면적은 Table

Table 8. Total area by soil series distributed as on the precise soil map, and the area in each landslide developmental stage

표준코드	변환 코드	전체면적		발 단 부		유 하 부		퇴 적 부		산사태합계	
		면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%
압곡통(AhC)	1	186,575	0.8	-	-	-	-	17,816.06	5.2	17,816.06	1.1
안룡통(ArC)	2	1,335,200	0.5	64.94	0.1	-	-	5,302.28	1.6	5,367.21	0.3
칠곡통(CGC)	3	806,025	0.3	434.02	0.3	347.28	0.1	5,717.27	1.7	6,498.57	0.4
덕산통(DpF2)	4	1,936,425	0.7	153.00	0.1	818.17	0.1	-	-	971.16	0.1
지곡통(JoB)	5	599,750	0.2	670.35	0.5	4,175.91	0.3	6,786.73	2.0	11,632.99	0.7
지곡통2(JoC)	6	1,483,925	0.5	1,392.40	1.0	40,592.07	3.6	36,280.29	10.7	78,264.76	4.8
생 략											
오대통(OdF)	11	83,847,100	29.2	51,381.40	37.9	407,525.28	-	2,930.93	0.9	461,837.61	28.5
풍천통(PxB)	12	741,600	0.7	-	-	-	-	1,962.34	0.6	1,962.34	0.1
하천범람지(RC)	13	2,370,050	0.8	-	-	217.12	0.0	5,859.13	1.7	6,076.25	0.4
삼각통(SgE2)	14	10,133,600	3.5	9,593.96	7.1	48,671.08	4.3	39,315.84	11.6	97,580.88	6.0
삼각통2(SgF2)	15	6,253,250	2.2	265.49	0.2	-	-	-	-	265.49	0.0
수암통(SKC)	16	1,164,850	0.4	1,260.71	0.9	12,465.90	1.1	14,900.62	4.4	28,627.23	1.8
수암통2(SKD)	17	698,075	0.2	199.66	0.2	1,191.47	0.1	4,178.30	1.2	5,569.43	0.3
삼각통3(SmF2)	18	67,534,600	23.6	50,693.37	37.4	489,199.47	42.7	55,249.77	16.3	595,142.61	36.7
송산통(SNE2)	19	4,336,975	1.5	794.35	0.6	6,890.72	0.6	3,430.62	1.0	11,115.69	0.7
생 략											
월곡통(WoC)	31	877,175	0.3	354.19	0.3	1,122.88	0.1	12,143.68	3.6	13,620.75	00.8

Table 9. results of descriptive statistics on effective soil depth

구 분	발단	유하	퇴적
Mean	1.6	1.6	1.6
95% CI for Mean Lower	1.6	1.5	1.5
95% CI for Mean Upper	1.6	1.6	1.7
5% Trimmed Mean	1.6	1.6	1.5
Median	2.0	2.0	1.0
Variance	0.2	0.3	0.4
Std. Deviation	0.5	0.5	0.6
Minimum	1.0	1.0	1.0
Maximum	4.0	4.0	3.0
Range	3.0	3.0	2.0

10과 같고 전체적으로 60%이상 사양토(SL)로 강원도 일대의 특성상 화성암류의 사양토(63.35%)가 산사태 발생에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 토양학적 인자중 유효토심은 깊이에 따라 분류되며 최소 20이상, 최대 100이상 등 4단계로 분류된다. 유효토심에 의한 산사태 지역의 Raster 분석 결과 Table 9와 같이 발달부 평균 1.64, 유하부 평균 1.62, 퇴적부 평균 1.61로 산사태 지역의 평균 유효 토심 특성을 알 수 있었다.

Table 10. Total area by soil texture of top soil distributed on the precise soil map, and the area in each landslide developmental stage

표준 코드	변환 코드	전체면적		발 단 부		유 하 부		퇴 적 부		산사태합계	
		면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%	면적(m^2)	%
SL	1	181,696,600	63.35	81,620.62	60.13	759,523.13	66.34	270,668.84	79.60	1,111,812.58	68.60
L	2	98,377,050	34.30	54,113.32	39.87	385,449.32	33.66	65,365.29	19.23	504,927.94	31.15
SiL	3	456,850	0.16								
SiCL	4	-	-								
LS	5	315,300	0.11								
CL	6	-	-								
C	7	5,955,400	2.08	-	-	-	-	3,992.58	1.17	3,992.58	0.25

4. 결과 및 고찰

위성영상(SPOT5)를 이용해 산사태 발생지역을 구분하고, 임상도, 정밀토양도, 수치지도를 이용하여 산사태 위험인자 분석결과 인제 지역의 산사태 특성은 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 지형도 분석의 경우 경사도는 평균 26.34°에서 발생 23.99°로 유하해 16.14°에서 퇴적되고, 경사방향은 남향, 남동, 남서향에서 발생 빈도가 높았고 북향, 북동, 북서 향은 6% 미만으로 낮았다. 고도의 경우 평균 627m에서 발생해 584.72m로 유하해 452.83m에 퇴적했다(평균 해수면기준).

둘째, 수문학적 분석의 경우 흐름장(하천장)의 붕괴는 95% 신뢰구간의 154.83m~202.87m에 분포, 평균 627.58m로 유하하여 1,171.84m~2,107.69m에 퇴적되었다. 유역면적 분석 결과 붕괴지에서 유하지, 퇴적지로 갈수록 유하면적이 급격히 커져 퇴적물의 퍼짐을 알 수 있었다. Horton 차수의 적용결과 유하지역은 1~5차수, 퇴적지는 1~7차수로 나타났다.

셋째, 임상학적 분석의 경우 3차, 4차 임상도의 임상별 면적 변화는 침활혼림 6%증가하고, 소나무림이 9% 감소했고, 산사태 발생 단계별 4차 임상도의 임상 분석결과 발달부는 소나무림 38.21%, 활엽수림 22.79%, 침활혼효림 17.48%로 소나무림에서 발생이 많았고, 유하부 지역은 소나무림 31.21%, 활엽수림 21.70% 이고 퇴적부는 임상이 없었다. 경급속성 분석결과 흉고직경 6~16cm의 임목 수관점유 비율이 50%이상인 소경목에서 산사태가 나타났다. 영급속성은 2~3영급 지역으로 수령 10~30년생의 입목 지역이었다. 소밀도 속성분석 결과 수관점유 면적이 51~71% 이하인 소밀도(중)으로 분석되었다.

넷째. 수치정밀토양도의 토양통 속석 분석결과 사양질 이고 배수능력이 매우 뛰어난 OdF(오대) 37.85%, SmF2(삼각) 37.35% 로 산사태에 많은 영향을 준 것으로 판단되고, 표토의 토성 속성의 경우 화성암류의 사양토(63.35%)가 산사태 발생지로 분석되었다. 유효토심 속성을 분석한 결과 산사태 단계별 1.61~1.64(35~39m)로 일정한 토심을 나타냈다.

인제지역 일대의 SPOT5영상과 GIS분석을 통해 산사태 위험인자 요소와 임상도, 정밀토양도를 분석결과 인제 지역 산사태의 특성을 알 수 있었고, 2.5m급 해상도의 SPOT5 영상의 활용 가능 했다.

인제지역의 산사태에 탐지는 SPOT5영상을 이용, 인적이 드문 곳에 대한 감지가 가능하나 고해상도 영상에 비해 시가지와 인접한 유하부의 판단에 다소 어려움이 있었다. 그리고 GIS를 이용한 산사태 특성 분석시 강우강도, 강우량을 정량화 하여 분석 한다면 예측의 정확성과 수문학적 분석이 용이할 것으로 예측된다.

참고문헌

김경수, 김원영, 채병곤, 송영석, 조용찬, 2005. 강우에 의해 발생된 자연사면 산사태 지질공학적 분석, 한국지질공학회, 15(2): 105-121.

박재국, 2008. 산사태 모니터링을 위한 지상라이다 자료의 정확도 평가, 한국측량학회지, 26(2): 17-127.

산림청 치산과, 2005.3. GIS를 이용한 산사태 위험지 관리시스템(2차 사업), pp.7.

유병욱, 송평현, 정찬규, 2006. 2006 강원 인제 , 영양, 평창지역 토석류 발생사례분석, 2006 가을 학술대회논문집, 한국지반공학회, pp.615-625.

조남춘, 최철웅, 이창우, 2006. RS와 GIS를 이용한 산사태 탐지 및 특성분석, 대한원격탐사학회 06춘계학술대회 논문집 2006, Mar, pp.246-249.

정재훈, 김상민, 김정환, 손홍규, 2008. In-SAR Coherence 영상을 이용한 산사태 탐측, 2008년 춘계학술대회, 한국지형공간 정보학회, pp.301-305.

지광훈, 신진수, 박노욱, 2001. 예측비율곡선을 이용한 GIS 기반 산사태 예측 모델의 정량적 비교, 대한원격탐사학회지, 17(3): 199-210.

흙토람, 2009, http://asis.rda.go.kr

Brand, E. W., 1985. Landslide in Hongkong Special Lecture. 8th Southeast Asian Geo. Conf. pp. 1-15.

Hui-Chung Yeh and Ju-Chen Hou, 2003. Landslide Detection Using Satellite Remote Sensing Imagery, IUGG 2003.

Jognes, D. K., 1983. A preliminary geo-morphogical

assessment of part of the Karakoram highway, *The Q. J. of Engineering Geology*, 16(4): 331-355.

K. H. Hsiao, 2004. Change detection of Landslide terrains using Ground-based LIDAR data, ISPRS 2004, Commission7/WG5.

Thomas L. S., 1980. The analytic hierarchy process planning.

Strahler, A. N., 1952. Hypsometric analysis of erosional topography, *Bulletin of the geological society of America*, 63: 1117-1142.

UNESCO Workong Party on Landslide Inventory, 1990, A suggested method for reporting a land slide, *Bull. of IAEA*, 41: 5-12.

Wakens, A. T. and N. P. Koirala, 1986. Bulk appraisal of slope in Hong Kong. Landslide proc. 5th Int. Symp. on Landslide. A. A. Balkema. pp. 1181-1186.