

# 지리정보시스템을 이용한 산사태 위험지 판정에 관한 연구

추태호<sup>1</sup>, 윤현철<sup>1</sup>, 배창연<sup>1</sup>, 손희삼<sup>\*</sup>  
<sup>1</sup>부산대학교 사회환경시스템공학부

## Study on Decision for Landslide Hazard Areas by Using GIS

Tai Ho Choo<sup>1</sup>, Hyeon Cheol Yoon<sup>1</sup>, Chang Yeon Bae<sup>1</sup>, Hee Sam Son<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Environmental and civil Engineering, Pusan National University

**요약** 본 우리나라는 산지가 많고 하절기에 연 강수량의 약 2/3정도가 집중적으로 발생하기 때문에 매년 산사태에 의한 피해가 발생하고 있다. 재산 및 인명을 보호하기 위해서는 사전에 산사태 발생지를 예측하고 피해를 최소화하기 위한 대책이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 산사태 위험 판정을 평가하기 위해서 수치지형도, 수치임상도, 수치입지도, 수치지질도를 활용하여 산사태 위험지역을 추출하였다. 그리고 국립산림과학원에서 제시한 산사태 위험지 판정표를 기준으로 GIS 기법을 활용해 연구지역의 산사태 위험지를 판정을 1차와 2차에 걸쳐 분석하였으며, 현장조사를 통해 최종 위험지를 판정하였다.

**Abstract** Landslides occur in Korea every year because it has numerous mountainous regions and approximately two-thirds of the annual rainfall falls in Summer. Therefore, it is important to predict potential areas of landslides and minimize the damage in advance to protect property and human life. Therefore, in the present study, the potential danger areas were extracted from a digital map, digital forest map, digital forest site environmental map, and digital geologic map to estimate the landslide hazard. In addition, the assessment of landslide danger was analyzed by first and second estimations based on the criteria from the Korea Forest Research Institute using a GIS technique, which was finally judged by a field investigation.

**Key Words** : Forest factor, GIS, Landslide, Land use

## 1. 서론

### 1.1 연구배경

최근 기후변화의 영향으로 강우의 집중화가 가속되고 있는 것으로 조사되고 있으며, 특히 산간지역의 집중호우는 지반을 액상화시켜 산사태를 유발시킨다. 우리나라는 산지가 많고 하절기에 집중호우가 빈번하게 발생하는 강우패턴을 보이기 때문에 매년 산사태에 의한 피해가 발생하고 있다. 산사태로 인한 피해가 심각한 이유는 산지의 집중호우로 인해 돌발적으로 발생하는 경우가 많고, 1차 붕괴가 시작되면 빠른 속도로 토석류가 이동하는 특징을 가지고 있어 산사태 및 토석류의 운동을 예측하고 대응하기 매우 어렵기 때문이다. 이러한 피해를 저감하

기 위해 2004년 산림과학원에서는 GIS 기법을 이용하여 산사태 위험지도(산사태위험발생등급도)를 작성하였으며, 2013년 산사태정보시스템의 산사태 위험지도 판정법을 개선하여 산사태 위험등급을 확인할 수 있도록 웹사이트를 통해 제공하고 있다. 그러나 웹사이트를 통해 제공받을 수 있는 정보는 현재까지는 한정적으로 제공되고 있는 실정이다. 따라서 국립지리원, 산림과학원, 한국지질자원연구원 등에서 제공하는 수치지형도, 수치임상도, 수치지질도 등을 활용해 상세한 산사태 위험을 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

연구동향을 살펴보면, 이진덕 등[1]은 GIS를 이용하여 경사도, 사면방향도를 추출하고, 위성영상자료의 영상처리를 통하여 정규식생지수(NDVI)분포도와 토지피복

이 논문은 한국연구재단 BK21플러스 사업의 일환으로 수행된 연구결과임(21A20132012304)

\*Corresponding Author : Hee Sam Son(Pusan National Univ.)

Tel: +82-51-510-7654 email: hss3515@korea.kr

Received May 2, 2014

Revised August 6, 2014

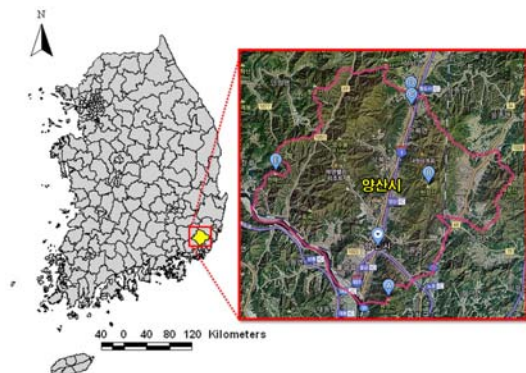
Accepted August 7, 2014

현황도를 작성하여 산사태 발생가능지 예측을 수행하였고, 김경태 등[2]은 금호강 유역을 대상으로 GIS와 원격탐사기법을 활용하여 사면경사, 사면방향, 지질, 토지이용도, 식생지수를 추출하여 산사태 취약성의 예측과 지도화를 수행하였다. 그리고 양인태 등[3]은 산사태 유발인자와 강우조건을 고려하여 산사태 잠재가능성을 평가하고 산사태 취약지역을 분석하여 지역적인 강우특성을 고려한 산사태 가능성을 평가하였고, 박재국 등[4]은 강우조건을 고려한 산사태 가능성을 제작하고, 위성영상과 수치지도를 이용하여 토지이용도를 작성하였으며, 두 자료를 이용하여 위험지역을 추출하였으며, 윤홍식 등[5]은 국내 산사태 발생이력 자료를 기반으로 GIS 기법을 적용하여 산사태 위험도 분석을 수행하였다.

위와 같이 광범위한 구역을 대상으로 여러 가지 인자들을 고려하여 연구를 수행하였으나 모든 상황을 고려하기에는 한계가 있고, 특히 산지에 분포되어 있는 송전철탑 및 임도를 반영하여 위험도를 추정하기 어렵다. 또한 임도의 경우 절토사면이 발생한 경우와 임도상하부에서부터 산사태가 발생하는 경우가 많기 때문에 실내분석과 현지조사를 통해 산사태발생위험도를 평가할 필요가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 산사태위험도 분석방법과 임도망 중첩을 통한 위험도 분석 및 현지조사를 겸용하여 산사태 위험지 판정방법을 제시하고자한다.

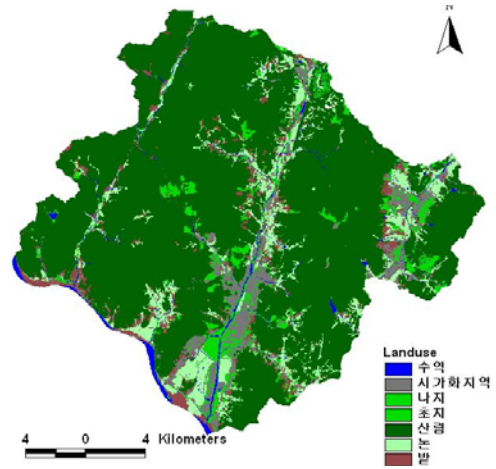
### 1.2 연구지역

대상지역은 Fig. 1과 같이 경상남도 양산시를 대상으로 하였으며, 총면적은 485.4 km<sup>2</sup>로 전체 면적 중 산림이 74.1%로 가장 높으며, 논, 시가지, 밭, 초지, 나지 등의 순서로 Fig. 2와 같다. 그리고 동으로는 태백산맥과 서로는 소백산맥이 감싸고 북으로는 정족산맥이 경계를 만들고



[Fig. 1] Study Area

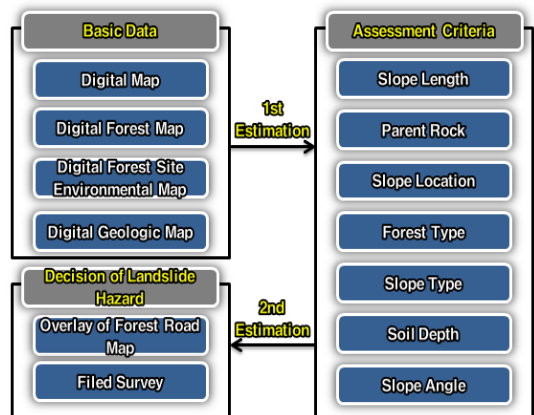
있어 산사태의 잠재위험성이 높은 지역으로 판단된다.



[Fig. 2] Land Use Map

### 1.3 연구방법

최근 산림청 국립산림과학원에서는 산사태위험도등급기준을 기존의 4등급에서 5등급으로 변경하는 것으로 판정법을 개선하여 Table 1과 같이 제공하고 있다. 미국 ESRI社의 GIS 소프트웨어인 ArcGIS 9.2 Desktop을 이용하여 Fig. 3과 같이 1차적으로 각 수치지도로부터 추출한 인자를 항목별로 값을 부여하고, 동일지점에 해당하는 인자들의 값을 합산한 후, 산사태위험도 등급기준에 따라 산사태위험도등급을 구분한다. 2차적으로 임도와 유출경로를 중첩하여 산사태 위험지역의 범위를 축소하고, 산정된 산사태 위험지역에 대한 현지조사를 수행하여 위험도를 판정하였다.



[Fig. 3] Method of Landslide Hazard Analysis

[Table 1] Criteria of landslide hazard dangerous area and weights

Factors	Weights of the Classification				
	1	2	3	4	5
Slope Length (m)	50 and less 0	51~100 19	101~200 36	201 and over 74	
Slope Location	0~4/10 0	5~6/10 9	7~10/10 26		
Slope Type	convex 0	equilibrium 5	concave 12	complex 23	
Slope(°)	25 and less 16	26~40 9	41 and over 0		
Forest Type	coniferous forest (densiflora, small wood) unstocked land 18	coniferous forest (medium, large wood) hardwood forest, mixed forest (densiflora) 26	hardwood forest, mixed forest (small, medium, large wood) 0		
Soil Depth (cm)	20 and less 0	20~100 7	101 and over 21		
Parent Rock	sedimentary rock (mudstone, lime stone, shale, sandstone) 0	igneous rock eruptive (granite, etc.) 5	metamorphic rock (slate clayslate, etc.) 12	metamorphic rock (gneiss, schist) 19	igneous rock eruptive (pophyry, andesite) 56

Ref. Korea Forest Service, 2002 [6]

[Table 2] Basic Data Layer to Classify Landslide Hazard Dangerous Area

Classification	Scale	Factors	Origin
Digital Map	1:5,000	Slope Length Slope Location Slope Type Slope(degree)	National Geographic Information Institute of Korea
Digital Forest Map	1:25,000	Forest Type	Korea Forest Service
Digital Forest Site Environmental Map	1:25,000	Soil Depth	Korea Forest Research Institute
Digital Geologic Map	1:50,000	Parent Rock	Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

2.1.1 경사길이

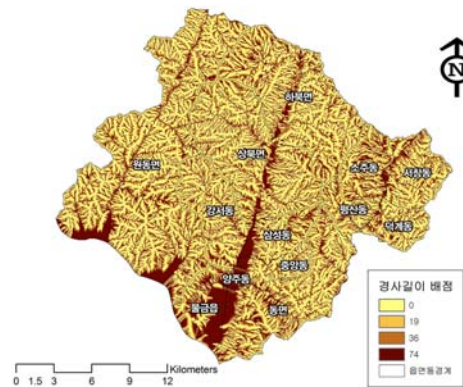
Focal Statistics 기능을 이용하여 경사의 길이를 산정하기 위해 계곡과 능선의 탐색을 수행하였으며, 이를 이용하여 계곡부와 능선부를 구분하였고, 그 결과를 바탕으로 경사의 길이 및 위치를 Fig. 4와 같이 산정하였다. 또한, 일정 영역내의 경우는 DEM 수치와 DEM 평균값의 수치의 차를 이용하였다.

2. 산사태 위험지 판정

2.1 기초자료

산사태 위험지 판정을 위해 각각의 속성정보를 포함한 수치지도를 이용하여 분석의 기초가 되는 경사길이, 경사위치, 사면형, 경사도, 임상, 토심, 모암을 추출하였다.

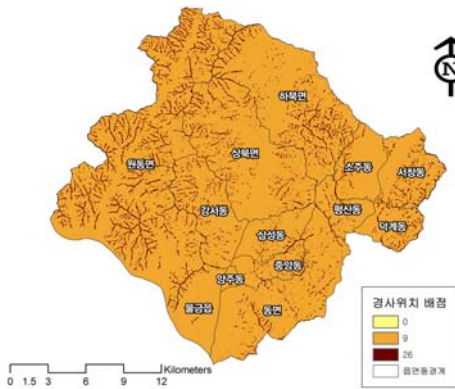
Table 2와 같이 수치지형도는 국립지리원에서 제작한 1/5,000 축척의 지도로써 등고선과 표고레이어를 추출하여 수치표고모형인 DEM(Digital Elevation Model)을 제작하였고, 수치임상도는 산림청 국립산림과학원에서 전국의 산지를 대상으로 제작한 수치지도로써 임상외에도 경급, 영급 등의 속성을 포함하고 있으며, 임상 및 경급 속성을 토대로 임상인자를 추출하였다. 또한, 산림청 국립산림과학원에서 제작한 수치입지도를 이용하여 토심인자를 추출하였고, 한국지질자원연구원에서 제작한 1/50,000 축척의 수치지질도를 이용하여 모암인자를 추출하여 분석에 활용하였다.



[Fig. 4] Slope Length Value Thematic Map

2.1.2 경사위치

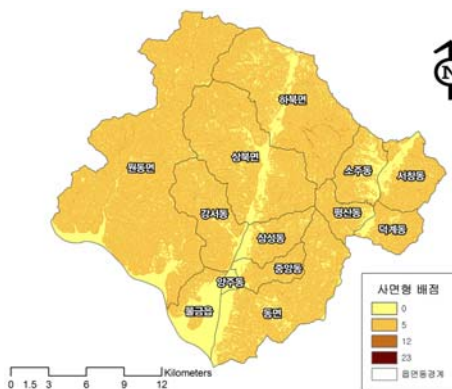
2.1.1절에서 수행한 능선부 구분 결과를 이용하여 이를 10개로 분할한 후 10부 능선 기준의 사면위치를 추출하였다. 추출한 사면위치를 바탕으로 경사의 위치를 Fig. 5와 같이 산정하였다. 경사위치는 2부~6부 능선이 지배적인 것으로 나타났고, 7부 이상으로 나타나는 지역도 높은 지역에서 많이 나타났다.



[Fig. 5] Slope Location Value Thematic Map

2.1.3 사면형

사면형이란 사면의 종단면형을 의미하는 것으로 크게 상승사면, 평형사면, 하강사면으로 나눌 수 있다. 상승사면이란 사면으로 올라갈수록 경사가 완만해지는 완경사면을 의미하며, 평형사면이란 사면에서의 경사가 일정한 사면을 말한다. 또한 하강사면이란 사면으로 올라갈수록 경사가 급해지는 급경사면을 의미하고, 복합사면이란 2개 이상의 사면형이 존재하는 사면을 말한다. 사면형도를 제작하기 위해 곡률연산을 실시하였으며, 그 결과로 파생된 종단방향 곡률을 재분류하였다. Fig. 6은 곡률분류를 수행한 결과로써 연구지역의 대부분 지역이 평형사면과 상승사면으로 분석되었고, 극히 일부지역에서 하강사면과 복합사면이 분포하는 것으로 나타났다.

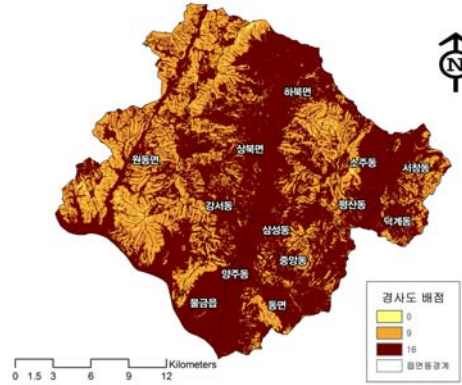


[Fig. 6] Slope Type Value Thematic Map

2.1.4 경사도

경사도란 사면의 각도로서 평균경사도를 의미하고, 유

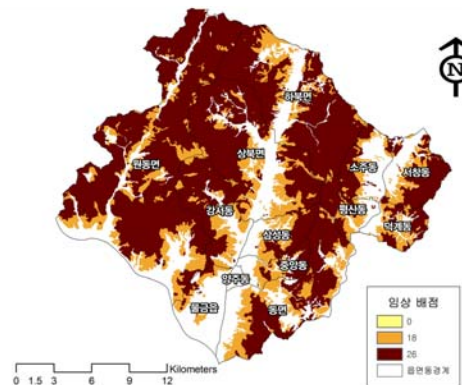
출과 토석류 흐름 등 산사태위험도 분석에 중요한 인자이다. Fig. 7은 수치지형도와 2.1.1절에서 분석한 계곡부 및 능선부를 이용하여 분석한 결과로써 하천을 중심으로 25°이하의 완만한 경사를 가진 지역이 분포하며, 대부분의 산지지역에서는 26° ~ 40°가 많이 나타났으며, 계곡과 능선부를 제외한 일부 산지지역은 경사도 41°이상인 지역이 분포하는 것으로 분석되었다.



[Fig. 7] Slope Value Thematic Map

2.1.5 임상도

임상이란 임분의 수와 종의 구성상태를 말하여, 크게 침엽수림, 활엽수림, 혼효림 및 치수림으로 분류하였다. 침엽수림은 해당 산지에 침엽수가 75% 이상 생육하고 있는 산림, 활엽수림은 활엽수가 75% 이상 생육하고 있는 산림, 혼효림은 침엽수 또는 활엽수가 각각 25% 초과 75% 미만으로 생육하고 있는 산림, 그리고 치수림(稚樹林)은 가슴높이지름 6cm 미만 임목이 50% 이상 생육하고



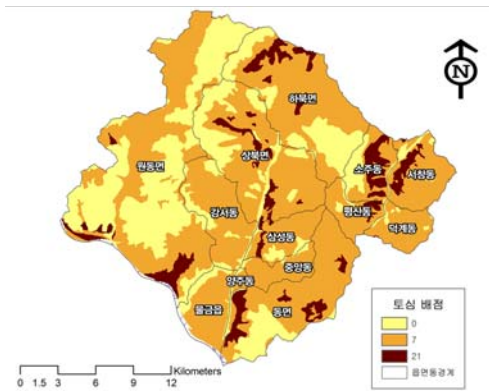
[Fig. 8] Forest Type Value Thematic Map



있는 산림을 의미한다. 연구지역의 임상도는 Fig. 8과 같이 침엽수림이 지배적인 것으로 분석되었다.

### 2.1.6 토심도

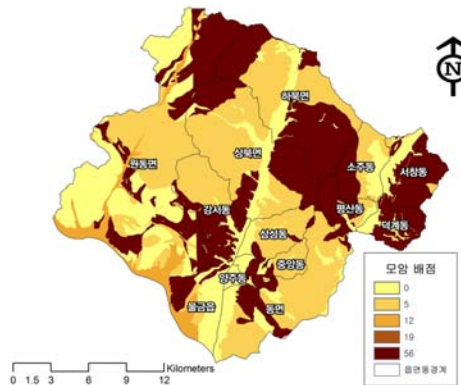
토심(土深)이란 모암으로부터 지표면까지의 토사의 깊이 또는 수목의 뿌리가 비교적 용이하게 침투할 수 있는 토양의 깊이를 의미한다. Fig. 9는 연구지역의 토심도로 21~100cm의 범위가 가장 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 얇은 토심은 산지 능선인근에 분포한 것으로 나타났다. 그리고 토심도가 101cm 이상인 위험도가 높은 지역은 주로 하천인근의 범람원이나 농지지역에 분포하는 것으로 분석되었다.



[Fig. 9] Soil Depth Value Thematic Map

### 2.1.7 모암도

연구지역의 모암도 분포를 분석하기 위해 지질도의 암석성인별로 구분하여 Fig. 10과 같이 재구성하였다. 분



[Fig. 10] Parent Rock Value Thematic Map

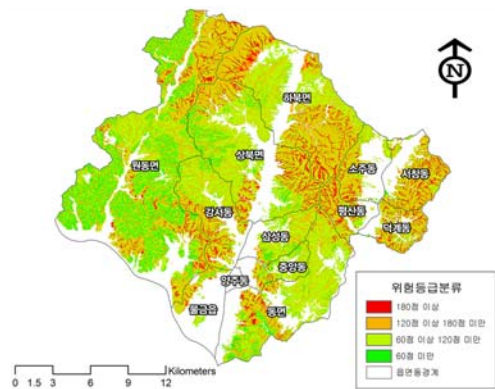
석결과 연구지역은 화성암이 주를 이루고 있으나, 위험도가 높은 반암류 및 안산암류가 산지지역에 넓게 분포하는 것으로 나타났다.

## 3. 산사태 위험지 판정

### 3.1 기초자료에 의한 1차 산정

2.1절에서 생성한 경사길이, 경사위치, 사면형, 경사도, 임상도, 토심도, 그리고 모암도의 배점들을 가중하여 판정한 결과 양산시 북측의 영축산지역, 북동측의 천성산 일대와 웅상 지역의 대운산 일대의 위험도 가중치가 높게 산정되었다. Fig. 11은 1차 산정의 결과를 나타낸 지도이다.

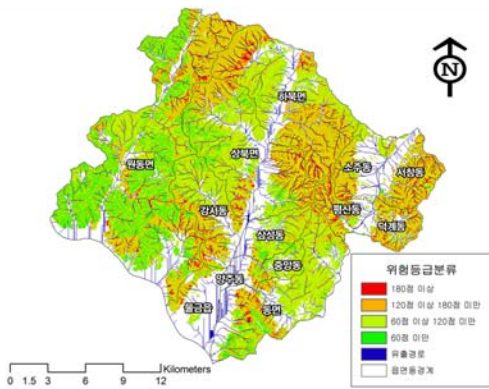
그러나 산사태 위험지 판정에 관한 1차 산정의 결과는 강우나 토양의 수분함량 등을 고려하지 않은 개략적인 방법으로 이 결과만으로는 실제 산사태가 발생한 지역과의 상호 비교가 어렵다는 문제점이 있기 때문에 유출경로분석과 임도를 고려하여 2차 산정에서 재분석하였다.



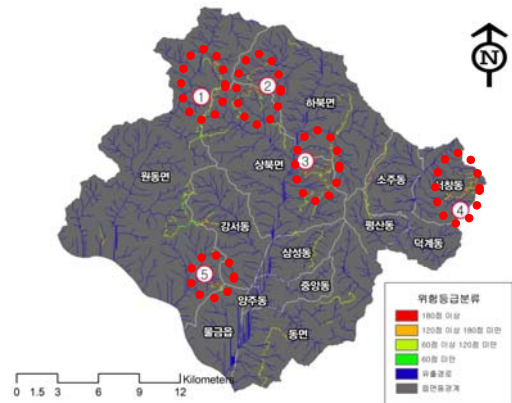
[Fig. 11] Landslide Hazard Dangerous Area Thematic Map

### 3.2 유출경로 분석

산사태의 경우 주로 강우와 함께 발생하게 된다. 또한 산사태로 인한 토석류 역시 흐름의 유출경로를 따라 이동 때문에 산사태 발생 시 예상 유출경로 분석이 필요하다고 판단된다. 흐름의 누적개수로 산정되는 흐름유출경로는 소하천 및 세천 규모의 산사태까지 고려하기 위하여 흐름누적개수의 기준을 120으로 채택하였다. 따라서 세천영역까지 흐름경로가 파악될 수 있도록 Fig. 12와 같이 분석되었다.



[Fig. 12] Runoff Route Thematic Map



[Fig. 13] Forest Road Overlay Result

### 3.3 임도망 중첩에 의한 2차 선정

산사태 위험지 판정결과의 활용성을 높이기 위해 기초자료에 의한 1차 선정결과, 유출경로분석 및 임도망을 고려하였다. Table. 1에 제시된 가중치를 지표로 임도망을 포함한 항목별 가중치 합계점수를 산정하여 Fig. 13과 같이 선정하였다. 적색 점선으로 된 원은 위험등급분류 1등급에 해당된 곳으로 위험임도 5개소를 다음 Table 3과 같이 선정하였다. 정확한 판단과 신뢰도를 높이기 위해 선정된 임도 구간은 현지조사를 실시하였다.

[Table 3] Expectable dangerous forest road

No.	Location	Classified value	Field Investigation result	
			Expected damage facilities	Forest road condition
1	San 77, Seon-ri, Wondong-myeon	180 and over	pension, warehouse	good
2	San 101-2, Oeseok-ri, Sangbuk-myeon	180 and over	house	good
3	San 21, Seokgye-ri, Sangbuk-myeon	180 and over	physical training facilities	good
4	San 66, Yongdang-dong	180 and over	forest lodge	good
5	San 41-2, Hwaje-ri, Wondong-myeon	180 and over	breeding farm	good

### 3.4 현지조사 및 결과분석

2.2절에서 선정한 5개소의 위험임도를 대상으로 현지조사를 실시하였고, Fig 14는 현장사진이다. 현지조사 시 임도 붕괴가 발생할 경우를 고려하여 임도 하부에 인명피해 우려시설의 존재 유무와 임도의 외관상 상태를 중점으로 조사하였다. Table. 4는 현지조사를 실시한 결과를 요약한 것으로, 조사결과 임도 하부에 시설이 존재하는 지역이 일부 확인되었으나, 임도의 유지관리 상태가 양호해 붕괴가 발생할 가능성은 낮은 것으로 판단되었지만, 산사태 위험지 판정결과 등급이 높은 지역이기 때문에 지속적인 유지관리와 주의가 필요할 것으로 판단된다.





[Fig. 14] Site Images  
 (a), (b) Site No.1 (c), (d) Site No.2 (e), (f) Site No.3 (g), (h) Site No.4 (i), (j) Site No.5

[Table 4] Field Investigation Result

No.	Investigation result	
1	Forest road condition	Good
	Facilities	Pension, warehouse
	Dangerous level	Low
2	Forest road condition	Good
	Facilities	House
	Dangerous level	Low
3	Forest road condition	Good
	Facilities	Physical training facilities
	Dangerous level	Low
4	Forest road condition	Good
	Facilities	Forest lodge
	Dangerous level	Low
5	Forest road condition	Good
	Facilities	Breeding farm
	Dangerous level	Low

#### 4. 결론

국립산림과학원에서 제시한 산사태 위험지 판정표를 기준으로 GIS 기법을 활용해 연구지역의 산사태 위험지를 판정을 1차와 2차에 걸쳐 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 판정결과 광범위한 지역에 걸쳐 1등급 지역이 확인되었으나, 판정결과가 너무 광범위한 지역이기 때

문에 모든 지역의 현지조사를 통해 실제 산사태가 우려되는 산사태 위험지를 찾아내고 관리하는 일은 비현실적이라 할 수 있다. 따라서 유출경로분석 및 임도망 중첩을 통해 현지조사의 대상이 되는 지역의 범위를 축소하고 현지조사를 통해 산사태 위험지 판정결과를 검증하고 활용방안을 높이고자 하였다.

2. 현지조사결과 육안으로 관찰할 수 있는 외관상의 문제점은 발견하기 어려워 산사태위험도를 판단할 수 없었으나, 위험등급이 높은 임도 하부에 인명피해가 우려되는 시설이 있는 지역의 경우에는 관리지구 지정 등을 통해 지속적으로 관찰하고 유지관리하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.
3. 유출경로 분석 방법은 전 지역을 대상으로 하는 개략적인 방법으로 초기 산사태에 대한 위험지역을 축소한 후 세부적인 전문 산사태 분석모형 등을 적용하고 검증하여 신중히 결정해야 한다.
4. 신뢰성 있는 산사태 위험지 평가를 위해서는 본 연구에서 고려하지 않은 과거 산사태 발생지에 대한 체계적인 자료구축 및 강우침식인자 등을 고려하여 차후 정확도 검증에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### References

- [1] J. D. Lee, S. H. Yeon, S. G. Kim, H. C. Lee, "The Application of GIS for the Prediction of Landslide-Potential Areas", *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 5, No. 1, pp. 38-47, 2002.
- [2] K. T. Kim, S. G. Jung, K. H. Park, J. H. Oh, "Evaluation of Landslide Susceptibility Using GIS and RS", *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 8, No. 1, pp. 75-87, 2005.
- [3] I. T. Yang, J. K. Park, W. H. Jeon, "An assessment for effect of landslide on Maximum Continuous Rainfall using GIS", *Proceedings '07 of Korea society of GIS*, pp. 413-418, 2007.
- [4] J. K. Park, I. T. Yang, T. H. Kim, H. G. Park, "Extraction of Landslide Risk Area using GIS", *Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography*, Vol. 26, No. 1, pp. 27-39, 2008.
- [5] H. S. Yun, D. H. Lee, Y. C. Suh, "Preparation of Landslide

Hazard Map Using the Analysis of Historical Data and GIS Method", *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 12, No. 4, pp. 59-73, 2009.

[6] Korea Forest Service, Erosion and torrent control technique textbook, 2002.

**추 태 호(Tai Ho Choo)**

[정회원]



- 1990년 12월 : Pittsburgh 대학교 일반대학원 토목공학과 (수리학 석사)
- 1998년 12월 : Pittsburgh 대학교 일반대학원 환경토목공학과 (환경수리학 박사)
- 1984년 2월 ~ 2002년 9월 : K-Water 연구원 책임연구원 등
- 2002년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수

<관심분야>  
댐, 수리수문, 하천

**윤 현 철(Hyeon Cheol Yoon)**

[정회원]



- 2010년 2월 : 동아대학교 토목공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사수료

<관심분야>  
댐, 수리수문, 하천

**배 창 연(Chang Yeon Bae)**

[정회원]



- 2013년 6월 : 순천대학교 토목공학과 (공학사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

<관심분야>  
개수로, 하천, GIS

**손 희 삼(Hee Sam Son)**

[정회원]



- 1997년 2월 : 밀양산업대학교 토목공학과 (공학사)
- 2011년 8월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>  
댐, 수리수문, 하천