

# 산사태 위험지도를 이용한 강원도 지자체의 피해규모 산정 An Evaluation of Damage Scale on the Local Governments in Gangwon-do using Landslide Risk Maps

양인태\* · 박재국\*\* · 박 건\*\*\*  
Yang, In Tae · Park, Jae Kook · Park, Kheun

## 요 旨

본 연구에서는 강원도를 대상으로 산사태로 인한 피해지역을 사전에 예측하였으며, 도로, 건물, 산림 등의 피해규모를 지자체별로 산정하였다. 산사태를 예측하기 위해서 기존의 연구 성과를 활용하여 산사태 취약성도, 발생가능성도, 위험지도 제작기법을 정립하였다. 도로, 건물, 산림의 산사태 피해규모는 누적강우량 100mm, 200mm, 300mm 발생시 각각의 산사태 위험지도를 제작하여 지자체별로 산정하였다. 그 결과 100mm~200mm 미만 누적강우량 발생시 도로피해는 홍천군, 건물피해는 정선군, 산림피해는 홍천군 순으로 나타났으며, 200mm~300mm 미만 누적강우량 발생시 도로피해는 춘천시, 건물피해는 평창군, 산림피해는 홍천군 순으로 나타났다. 특히, 300mm 이상 누적강우량 발생시 홍천군의 경우 도로, 건물, 산림피해가 다른 지자체에 비해서 가장 피해가 클 것으로 예측되었다. 이와 같이 지자체의 산사태 피해규모를 각각 산정함으로써 산사태 예방의 우선순위 결정뿐만 아니라 예산을 투입하는데 있어 의사결정의 기초자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 산사태, 재해, 위험지도, 피해규모산정, 누적강우량

## Abstract

This study predicted damage areas due to landslides in Gangwon Province and estimated the scale of damage to roads, buildings, and forests on the local government level. By using old research findings to predict landslides, the study established techniques to make maps for landslide vulnerability, occurrence possibility, and risk. The scale of damage to roads, buildings, and forests was estimated at the local government level by making a landslide risk map for 100mm, 200mm, and 300mm of accumulated rainfall. The scale of damage to roads, buildings, and forests was estimated to be greatest in Hongcheon-gun, Jeongseon-gun, and Hongcheon-gun, respectively, in case of 100mm~200mm accumulated rainfall, in Chuncheon City, Pyeongchang-gun, and Hongcheon-gun, respectively, in case of 200mm~300mm accumulated rainfall, and in Hongcheon-gun in case of 300mm accumulated rainfall or more. Those estimation results of scale of damage by landslides at the local government level will help to set priorities in landslide prevention and provide basic data for budget decisions.

**Keywords :** Landslide, Disaster, Risk Map, Evaluation of Damage Scale, Accumulated Rainfall

## 1. 서 론

도시화로 인한 산림훼손과 인구밀도의 증가 그리고 경제발전을 통한 여가활동의 증가, 전 세계적인 이상기후 현상 등으로 인해 산사태 발생시 피해규모는 매년 더욱 증가되고 있다. 즉, 자연적 원인과 인위적인 원인

에 의해 산사태로 인한 피해는 더욱 증가되고 있다. 이에 산사태로 인한 피해를 최소화하기 위한 노력과 관심이 요구된다. 그러나 정부의 한정된 예산과 국민의 안전 불감증 등이 산사태발생의 사전예방에 큰 걸림돌이 되고 있다.

광범위한 지역의 산사태발생을 사전에 예측하고

Received: 2014.10.02, accepted: 2014.12.17

\* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수(Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University, [intea@kangwon.ac.kr](mailto:intea@kangwon.ac.kr))

\*\* 교신저자 · 정회원 · 남서울대학교 GIS공학과 조교수(Corresponding author, Member, Assistant Professor, Dept. of GIS Engineering, Namseoul University, [gisdata@nsu.ac.kr](mailto:gisdata@nsu.ac.kr))

\*\*\* 정회원 · 강원대학교 대학원 토목공학과 박사수료(Member, Ph.D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University, [pk9275@korea.com](mailto:pk9275@korea.com))

예방하기 위해서는 막대한 예산과 기술이 요구되나 현실적으로 예산부족과 한정된 인력으로 이를 해결하는 데는 많은 어려움이 있다. 따라서 산사태 위험지도 제작 기술개발을 통해 산사태 피해 규모를 사전에 예측하고, 산사태 위험지역에 대해서 우선순위를 결정하여 관리한다면 비용의 효율성뿐만 아니라 산사태로 인한 피해를 최소화하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 산사태 예측관련 연구사례를 분석해 보면 GIS 기술을 활용한 산사태 위험성 평가와 계측기 또는 센서를 이용한 산사태 예측방법 등으로 크게 구분될 수 있다. 즉 간접적인 방법과 직접적인 방법을 통해 산사태를 예측할 수 있다. 간접적인 방법의 경우 적은 비용으로 광범위한 지역의 산사태를 예측할 수 있는 장점이 있는 반면 정확도가 다소 떨어지고, 직접적인 방법의 경우 정확도는 간접적인 방법에 비해 높으나 면적대비 높은 비용발생으로 소규모 지역에 대한 산사태를 예측하는데 적합하다. 따라서 비용대비 효율성을 극대화하기 위해서는 두 가지 방법을 적절히 병행하여 적용하는 것이 바람직하다. 즉, 간접적인 방법을 통해 산사태 위험도가 높은 지역을 선정하고 그 피해예상 규모에 따라 우선순위를 결정하여 직접적인 방법을 통해 산사태를 예방할 수 있도록 하는 것이다.

산사태를 예측하는 간접적인 방법의 경우 빈도비 분석법, 인공신경망 분석법, 로지스틱 회귀분석법 등과 GIS 기술을 함께 활용한 방법들이 이용된다(Quan et al., 2011). 이와 같은 방법은 산사태를 예측하는데 있어 지형도, 토양도, 임상도, 지질도, 위성영상, 기존 산사태 발생 위치 등의 정적자료를 인자로 하여 제작되는 산사태 취약성도와 강우 또는 수문자료 등의 동적자료를 함께 이용하여 분석되는 산사태 발생가능성도 등이 있다(Yang et al., 2007a). 최근에는 산사태 발생에 직접적인 영향을 미치는 동적자료를 활용한 산사태 분석이 주로 연구되고 있다. 이는 태풍 및 집중호우가 산사태의 직접적인 발생 원인임을 시사하고 있는 것이다(Yoo et al., 2012).

지금까지의 기존 연구사례를 분석한 결과 산사태 발생의 예측정확도를 향상하고 광역적인 산사태 위험 예측지도를 제작하는데 대부분 국한되어 있었으며(Lee, 2011), 구체적인 산사태 피해규모를 예상하여 제시하거나 국가나 지자체가 활용할 수 있는 의사결정자료로 제시하는데는 한계가 있었다. 즉, 활용성 측면보다 정확도 향상에 관한 연구에 집중되어 구체적인 산사태 피해규모를 제시하는데는 한계가 있었다(Park et al.,

2008). 이에 본 연구에서는 기존의 산사태 위험지도 제작 기술을 활용하여 강원도의 누적강우량에 따른 산사태 발생가능성도를 제작하고, 강원도전체를 대상으로 지자체별 도로, 건물, 산림 등의 산사태 피해규모를 구체적으로 산정함으로써 국가나 지자체에서 산사태 사전예방을 위해 우선순위에 따라 예산을 투입할 수 있도록 하는 의사결정 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구범위 및 방법

산사태 발생을 예측할 수 있는 산사태 위험지도를 제작하고 도로, 건물, 산림 등의 산사태로 인한 피해예측 규모를 정량화하기 위해 Fig. 1과 같이 강원도 지역을 시범 연구대상지역으로 선정하였다.

최종 연구결과를 도출하기 위해 산사태 취약성도, 산사태 발생가능성도, 산사태 위험지도 제작 등의 단계로 연구를 수행하였다. 취약성도는 산사태 발생 유발인자 중 10개의 정적자료를 활용하여 취약성도를 제작하였다.

발생가능성도는 취약성도와 함께 누적강우량에 따른 산림청 산사태 예보 기준인 주의보(100~200mm 미만), 경보(200mm 이상)와 본 연구에서 제시한 발생(300mm 이상) 기준에 맞추어 각각의 산사태 발생가능성도를 제작하였다. 발생기준(300mm 이상)에 대한 자세한 설명은 뒤 절에서 설명할 것이다. 위험지도는 수치지도와 임상도를 이용하여 추출된 도로, 건물, 산림을 발생가능성도와 중첩하여 위험지역만을 절취한 후 지자체별 피해규모를 산정하였다(Fig. 2).



Figure 1. Research Area

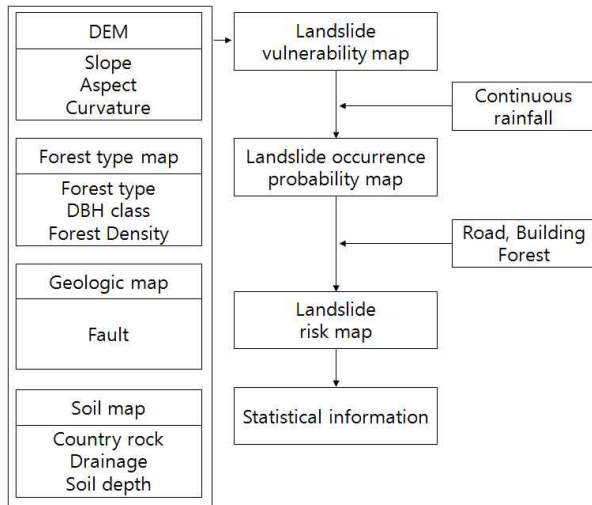


Figure 2. Method of Study

### 3. 산사태 위험지도 제작과 피해규모 예측

#### 3.1 취약성도 제작

산사태 유발인자 선정과 인자의 GIS 중첩분석을 위한 인자들의 가중치는 기존 선행 연구에서 제안한 인자와 가중치값을 이용하였다(Yang et al., 2007b; Park et al., 2008). 기존의 선행 연구는 35점의 산사태 발생 위치자료와 검증용을 위한 61개의 산사태 발생 위치자료를 이용하였으나, 본 연구에서는 추가 DB를 확보하여 총 215개 지점의 산사태 발생 위치자료를 본 연구에 사용하였다. 산사태 유발인자와 가중치는 Table 1과 같다. 유발인자에 대해서 가중치를 부여하고 중첩분석을 실시한 결과 1차 취약성도의 셀 값 범위는 3.9에서 22.81로 나타났으며, 기존 산사태 발생지점 215개소를 1차 취약성도에 중첩한 결과 해당 발생지점의 통계값은 Table 2와 같이 계산되었다.

특히, 215개소 중 145개소가 평균값 19.897 이상으로 나타나 Fig. 3과 같이 크게 두 그룹으로 군집되어 있다는 것을 알 수 있었다(Fig. 3).

이에 본 연구에서는 최소값과 평균값을 임계값으로 설정하고 취약 등급을 1등급과 2등급으로 구분하였다. 즉 215개소 중 67.44%에 해당하는 145개소의 평균값인 19.897 이상의 셀 값을 1등급으로 할당하고, 15.288~19.896에 해당하는 셀 값은 2등급으로 할당하였다. 셀 값의 분류는 식(1)과 같이 15.288, 19.897을 기준으로 1등급과 2등급으로 셀 값을 분류하였으며, 그 밖의 값은 0값으로 처리한 후 이후에 Null 값으로 할당하였다.

$$\text{con}(\text{MapGrid} \geq 15.288, \text{con}(\text{MapGrid} \geq 19.897, 1, 2), 0) \quad (1)$$

Table 1. Weighted Value of Landslide Factor

Factor	Value	Code	Weighting	
Slope	21~40	1	0.546	
	11~20	2	0.224	
	Etc.	3	0.091	
Curvature	Convex slope	1	0.263	
	Concave slope	2	0.108	
	Equilibrium slope	3	0.044	
Aspect	W, SW, E, NE	1	0.263	
	N, SE	2	0.108	
	S, NW	3	0.044	
Country rock	Igneous rock, Tertiary system	1	2.227	
	Metamorphic rock, Sedimentary rock	2	0.916	
	Volcanic ash	3	0.373	
Soil depth	50~100	1	2.227	
	<20, 20~50	2	0.916	
	>100	3	0.373	
Drainage	somewhat excessively drained	1	2.227	
	moderately well drained	2	0.916	
	poorly drained	3	0.373	
Forest type	O, D, M	1	4.532	
	PD, Ca, Q, PK, PL	2	1.864	
	R, U, W, L	3	0.760	
DBH class	Small wood	1, 2	1	4.532
	Medium wood	3	2	1.864
	Large wood	4	3	0.760
Forest density	Low density, Middle density	1	5.827	
	High density	2	2.397	
	Etc.	3	0.977	
Fault	○	1	0.168	
	X	2	0.056	

Table 2. Cell Statistics of Landslide Occurrence Point on the 1st Landslide Vulnerability Map

Statistics	Value
Count	215
Minimum	15.288
Maximum	22.545
Mean	19.897
Standard deviation	1.712

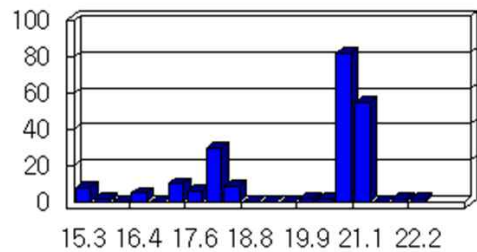


Figure 3. Frequency Distribution of Landslide Occurrence Point on the 1st Landslide Vulnerability Map

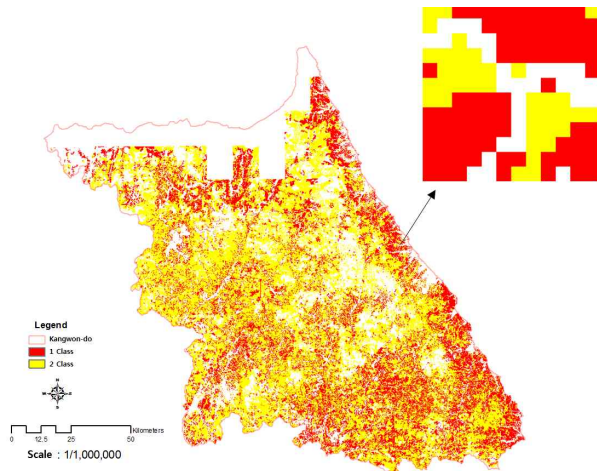


Figure 4. Landslide Vulnerability Map

Fig. 4는 2개의 등급으로 표현된 산사태 취약성도를 나타낸 것이다.

3.2 발생가능성도 제작

발생가능성도는 취약성도에 외력(강우, 지진)이 발생할 경우 산사태가 발생할 수 있는 지역을 지도로 나타낸 것으로, 본 연구에서는 기존 산사태 발생 시점의 누적강우량 정보를 획득하여 발생가능성도를 제작하는데 활용하였다.

본 연구에서는 토양이 완전히 포화될 때 산사태가 일어난다는 가정하에 토양도의 토심과 토성별 최대함수비를 이용하여 강원도의 토양이 포화되는데 필요한 수분량을 계산하였다. 즉 토성별 최대함수비와 토심을 곱하여 토양이 포화되는데 필요한 수분량을 계산하였다. 이때 토성별 최대함수비는 Park et al.,(2008)과 Jeon(2006)이 제시한 최대함수비를 이용하였다.

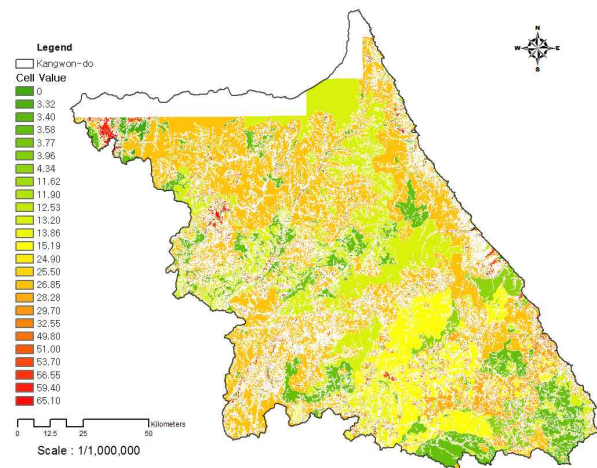


Figure 5. Moisture Content Map of the Soil for Saturation

Table 3. Cell Statistics of Landslide Occurrence Point on the Moisture Content Map of the Soil

Statistics	Value
Count	215
Minimum	12.53
Maximum	32.55
Mean	27.08
Standard deviation	1.30

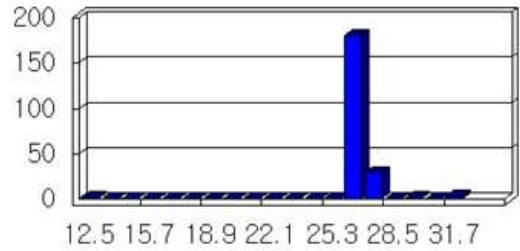


Figure 6. Frequency Distribution of Landslide Occurrence Point on the Moisture Content Map of the Soil

토성별 최대함수비와 토심을 이용하여 토양이 완전히 포화되는데 필요한 수분량을 계산한 결과 Fig. 5와 같이 분석되었다.

Fig. 5에서 강원도의 토양이 완전히 포화되는데 필요한 셀 값의 범위는 0~65.1로 나타났고, 기존 산사태 발생지점 215개소를 중첩한 결과 해당 발생지점의 통계값은 Table 3과 같이 계산되었다.

특히, 215개소 중 1개소만이 최소값의 수분량 12.53을 나타내었고, 나머지 214개소의 수분량은 최소 26.85를 나타내었다(Fig. 6).

앞 절에서 토양이 완전히 포화될 때 산사태가 발생한다고 가정하였듯이 발생지점 215개소는 완전 포화상태가 되어 산사태가 발생했다고 판단할 수 있다. 그러나 누적강우량에 따른 완전 포화시점을 알 수 없다. 따라서 포화에 필요한 수분량 계산에 의해 제작된(Fig. 5) 래스터 자료의 셀 값과 당시 누적강우량을 비교하여 누적강우량에 따른 산사태 발생 가능성을 판정하였다. Table 4는 산사태 발생지점의 포화에 필요한 수분량에 대한 셀 값과 산사태 발생 시점의 누적강우량을 나타낸 것이다.

산사태 발생지점의 당시 누적강우량과 수분량의 셀 값을 비교하여 분석한 결과 1개소를 제외한 214개소의 누적강우량 최소값은 301mm로 나타났으며(Fig. 7), 셀 값의 최소값은 26.85, 평균값 27.15, 표준편차 1.29로써 수분량 26.85를 기점으로 산사태가 발생하고 있음

Table 4. Comparison with Accumulated Rainfall of Landslide Occurrence Point and Cell Value of Moisture Content Map

Gangwon province	Rainfall (mm)	Cell value
Pyongchang	933	26.85
Inje	654	26.85
Inje	632	12.53(Exclusion)
Gangneung	884	26.85
Gangneung	399	26.85
Yangyang	602	26.85
Yangyang	301	28.28
Gangneung	355	26.85
Samcheok	490	29.70
Yangyang	301	26.85
Yangyang	332	26.85
Donghae	399	26.85
Count	214	
Minimum	301.00	26.85
Maximum	933.00	32.55
Mean	578.08	27.15
Standard deviation	241.25	1.29

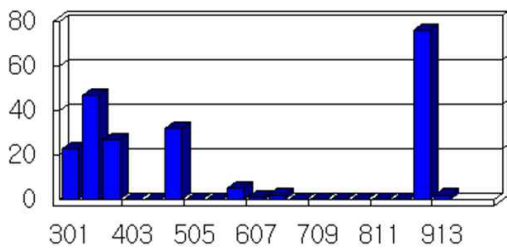


Figure 7. Frequency Distribution of Accumulated Rainfall in the Landslide Occurrence Point

을 알 수 있었다. 따라서 누적강우량이 300mm 이상이거나 수분량이 26.85 이상일 때 산사태가 발생하였다.

즉, 누적강우기준으로 300mm 이상 강우시 산사태 발생 확률이 매우 높으며, 이때 토양이 완전히 포화되는데 필요한 수분량은 26.85의 셀 값을 갖는다. 이에 본 연구에서는 강우량에 따른 토양의 포화 유무를 시뮬레이션하고, 취약성과 중첩분석을 실시하여 산사태 발생가능성도를 제작하였다.

포화 유무에 대한 시뮬레이션을 수행하기에 앞서 산사태가 발생할 수 있는 강우량 기준을 기존 선행 연구 사례를 통해 기준을 설정하였다.

선행 연구사례를 보면 폭우로 인한 산사태 및 복합호우로 인한 산사태를 고려하기 위해서는 누적강우량 기준을 150mm 제안하고 있었으며 (Ham and Hwang,

2014), Choi(1989)과 Yang et al.,(2007a)은 누적강우량 기준을 200mm 이상으로 제안하였다. 또한 산림청에서는 1988년에 누적강우량 100mm, 200mm 이상을 각각 산사태 주의보, 경보의 기준으로 제시하였다.

이에 본 연구에서는 산림청의 기준을 참고하여 100mm, 200mm와 본 연구에서 검토된 산사태 발생 확률이 매우 높은 300mm를 추가하여 누적강우량에 따른 산사태 발생기준을 제안하였다. 그리고 주의보(100mm), 경보(200mm), 발생(300mm 이상) 기준에 따라 토양이 완전히 포화되는데 필요한 수분량을 각각 26, 33, 65로 설정하였다. 수분량 26과 33은 산사태 발생 214개소에 대한 수분량의 최소 셀 값과 최대값이며, 수분량 65는 강원도의 토양이 완전히 포화하는데 필요한 최대 수분량이다(Table 5).

Table 5. Landslide Forecasting Criteria

Class of landslide	Accumulated rainfall(mm)	Moisture content of the soil	Source
Warning	100~200	26	Forest Service
Alert	200~299	33	
Occurrence	over 300	65	Research

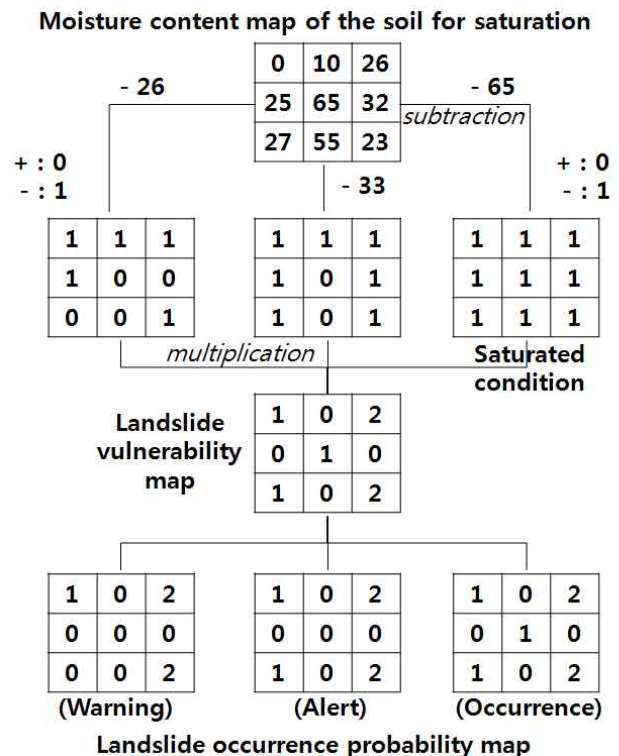
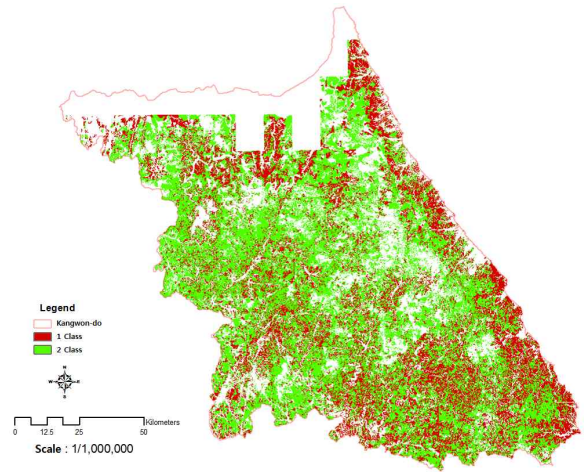


Figure 8. Method of Landslide Occurrence Probability Mapping using Accumulated Rainfall

앞에서 보여준 Fig. 5의 토양이 포화에 필요한 수분량 분석결과에 수분량 26, 33, 65를 각각 빼는 래스터 연산작업을 통해서 포화유무를 표현할 수 있는 래스터 자료를 작성하였다. 그리고 결과 값이 음인 경우 포화된 상태로써 1의 셀 값을 할당하고, 양의 경우 포화되지 않았으므로 0의 셀 값을 할당하는 재분류 작업을 실시하였다. 마지막으로 취약성도와 곱하여 최종적인 발생 가능성을 제작하였다.

즉, 산사태 발생가능성은 산사태에 취약한 지역이며, 동시에 포화된 지역으로 산사태가 발생하는 예상지역을 나타낸 것이다.

Fig. 8은 발생가능성도 제작 방법을 그림으로 나타낸 것이며, Fig. 9는 누적강우량에 따른 주의보(100mm), 경보(200mm), 발생(300mm) 등의 산사태 발생가능성도를 나타낸 것이다.



(c) Landslide occurrence(300mm)

Figure 9. Landslide Occurrence Probability Map

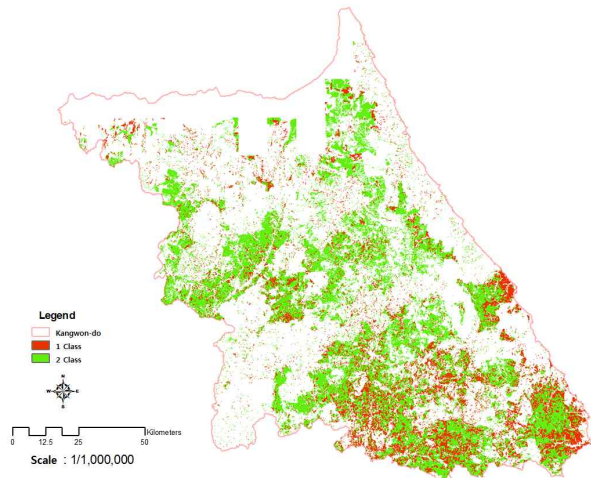
3.3 산사태 위험지도 제작과 피해규모 예측

도로, 건물, 산림의 산사태 발생에 따른 위험지도를 제작하기 위해서 도로와 건물은 2013년에 제작되어 국가공간정보유통센터에서 제공하는 전자지도를 획득하여 건물과 도로를 추출하였고, 산림은 2013년에 산림청을 통해 획득한 1:25,000 전국 임상도를 이용하여 강원도의 산림을 추출하였다. 추출된 도로, 건물, 산림 등을 산사태 발생가능성도와 중첩하여 산사태 위험지도를 제작하였다.

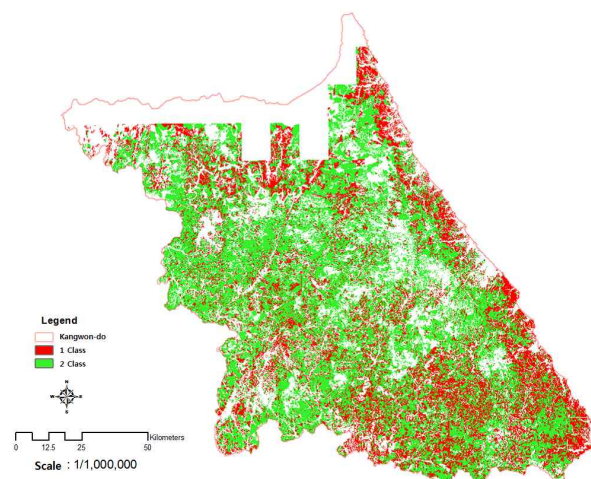
산사태 위험지도는 도로, 건물, 산림에 대해서 각각 산사태 경보, 주의, 발생기준에 따라 제작하여 총 9개의 위험지도를 제작하였다.

Fig. 10은 도로의 산사태 주의보(100mm), 경보(200mm), 발생(300mm)에 따른 위험지도를 나타낸 것이다.

Fig. 11과 Fig. 12는 건물, 산림에 대한 산사태 위험지도를 나타낸 것이다.



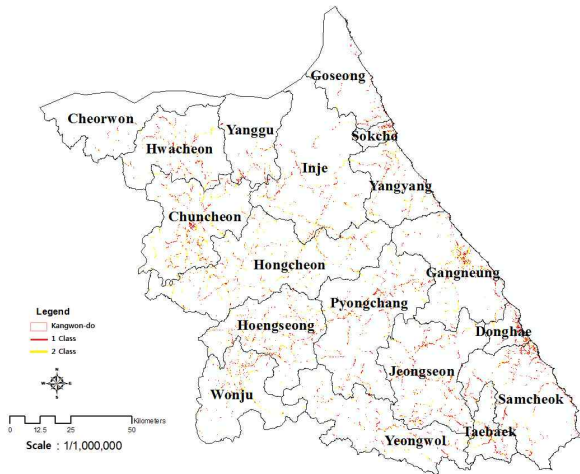
(a) Landslide warning(100mm)



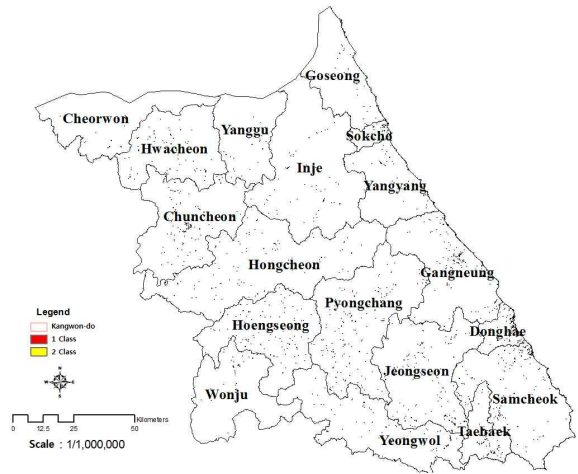
(b) Landslide alert(200mm)



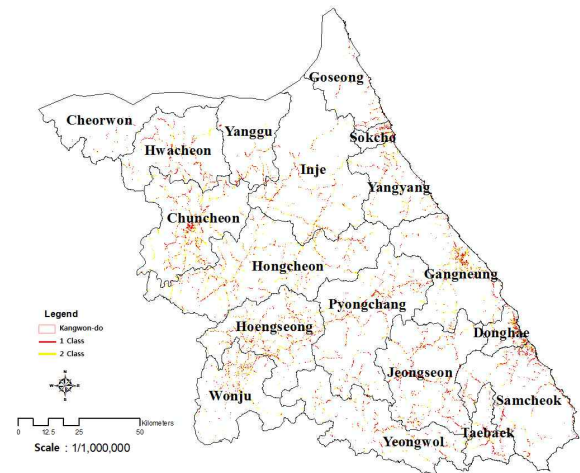
(a) Landslide warning(100mm) of road



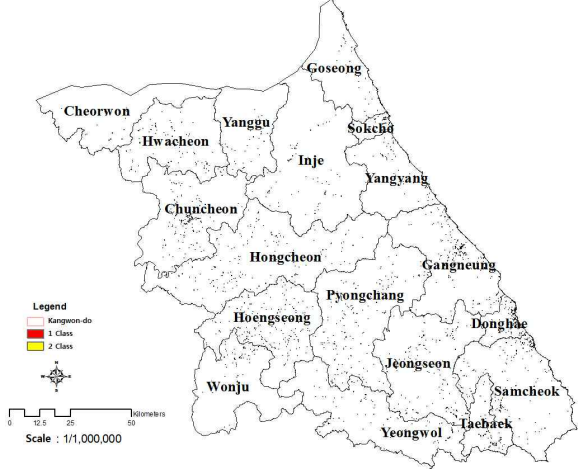
(b) Landslide alert(200mm) of road



(b) Landslide Alert(200mm) of building



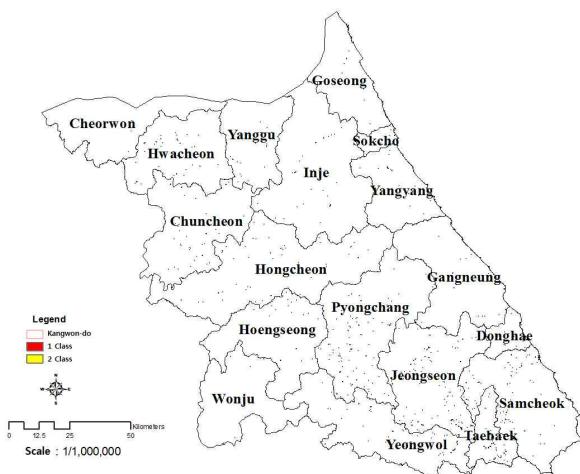
(c) Landslide occurrence(300mm) of road



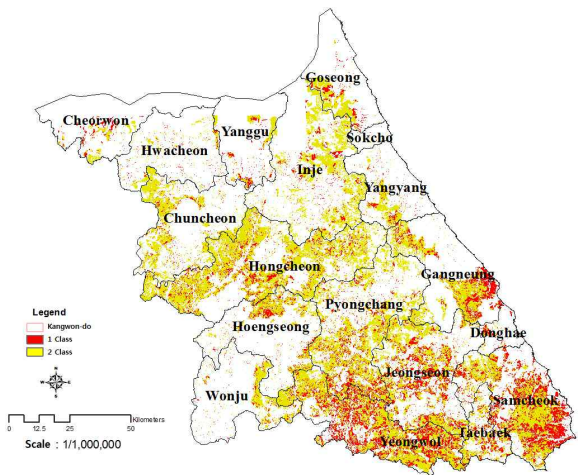
(c) Landslide Occurrence(300mm) of building

Figure 10. Risk Map of Road using Landslide Occurrence Maps

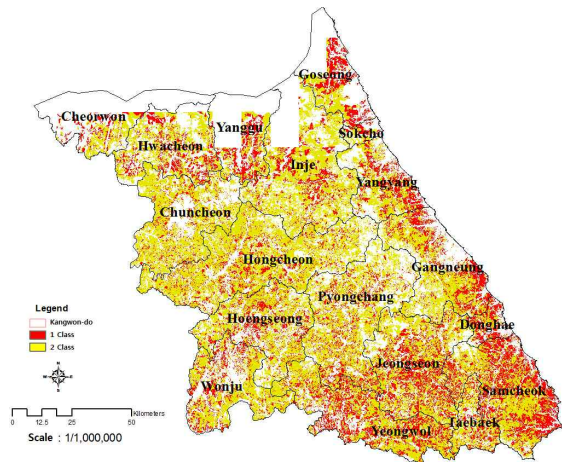
Figure 11. Risk Map of Building using Landslide Occurrence Maps



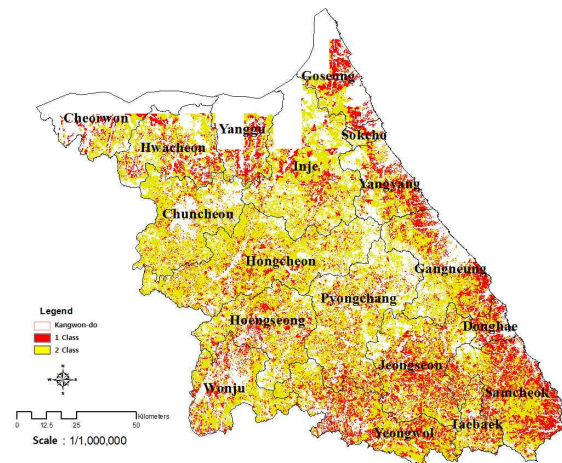
(a) Landslide warning(100mm) of building



(a) Landslide warning(100mm) of forest



(b) Landslide alert(200mm) of forest



(c) Landslide occurrence(300mm) of forest

Figure 12. Risk Map of Forest using Landslide Occurrence Maps

도로, 건물, 산림에 대한 각각의 산사태 피해예측 규모는 ESRI의 Arcmap 10.2를 이용하여 면적을 자동으로 산출하고, 산사태로 인한 피해 예측 규모를 Table 6과 같이 정리하였다.

Table 6은 강원도 전체 지자체를 대상으로 누적강수량 기준 100mm(주의보), 200mm(경보), 300mm(발생) 호우 발생 시뮬레이션을 통해 계산된 도로, 건물, 산림의 피해 예측규모를 면적으로 나타낸 것이다. 표에서는 산사태 발생빈도가 67.44%에 해당하는 1등급 지역과 나머지 2등급에 해당하는 지역의 피해면적을 각각 산출하여 표현하였으며, 지자체의 산사태 피해규모는 1등급과 2등급을 합한 면적을 대상으로 지자체별 산사태 위험순위를 결정하였다.

산사태로 인한 피해 예측규모가 전반적으로 가장 크게 나타난 지역은 홍천군으로 분석되었고, 강원도 남부지역과 영동지역 지자체 등이 산사태에 전반적으로 취약한 것으로 나타났다. 반면에 강원 북부지역의 일부 자료취득의 한계로 철원, 화천, 양구, 고성 등이 전반적으로 산사태에 취약하지 않은 것으로 나타났다. 이를 제외하면 속초가 산사태에 가장 취약하지 않은 것으로 분석되었다. 하지만 지자체의 면적대비로 본다면 행정구역 면적이 가장 적은 속초 또한 산사태에 덜 취약한 것만은 아니다. 따라서 국가 및 지자체는 산사태 예방을 위한 우선순위 결정시 행정구역의 면적과 피해 예측 규모 등을 동시에 고려해야 할 것으로 판단된다.

Table 6. An Evaluation of Damage Scale on the Local Governments in Gangwon-do using Landslide Risk Maps

Gangwon Province	Grade	Road(km)			Building(km <sup>2</sup> )			Forest(km <sup>2</sup> )		
		100 mm	200 mm	300 mm	100 mm	200 mm	300 mm	100 mm	200 mm	300 mm
Gangneung	1	26.5	84.2	115.6	0.09	0.50	0.76	105.97	206.65	212.8
	2	29.0	70.5	101.1	1.52	7.00	10.50	231.09	418.39	425.59
	1 + 2	55.5	154.7	216.7	1.61	7.50	11.26	337.06	625.04	638.39
Goseong	1	8.9	28.5	34.3	0.03	0.09	0.14	25.22	130.12	135.42
	2	5.2	8.3	12.1	0.35	0.97	1.64	83.52	112.49	114.95
	1 + 2	14.1	36.8	46.4	0.38	1.06	1.78	108.74	242.61	250.37
Donghae	1	4.1	45.3	57.4	0.04	0.36	0.45	12.85	66.68	67.68
	2	2.8	11.1	22.8	0.39	3.74	5.35	7.91	40.59	42.05
	1 + 2	6.9	56.4	80.2	0.43	4.10	5.80	20.76	107.27	109.73
Samcheok	1	53.4	126.9	142.4	0.27	0.63	0.75	278.88	435.91	442.4
	2	20.1	37.0	46.2	3.06	6.72	8.06	352.16	469.77	474.37
	1 + 2	73.5	163.9	188.6	3.33	7.35	8.81	631.04	905.68	916.77
Sokcho	1	2.6	27.5	34.8	0.02	0.14	0.17	0.66	19.9	20.27
	2	6.8	11.7	16.0	0.50	1.81	2.34	1.85	27.41	27.78
	1 + 2	9.4	39.2	50.8	0.52	1.95	2.51	2.51	47.31	48.05



Yanggu	1	16.7	29.0	36.4	0.07	0.11	0.16	19.76	102.65	104.51
	2	8.6	15.3	21.5	0.88	1.36	1.94	40.96	107.25	108.22
	1 + 2	25.3	44.3	57.9	0.95	1.47	2.10	60.72	209.9	212.73
Yangyang	1	19.6	41.2	46.9	0.09	0.18	0.23	19.13	140.75	143.28
	2	18.6	40.5	47.5	1.03	2.35	3.04	66.45	207.82	210.13
	1 + 2	38.2	81.7	94.4	1.12	2.53	3.27	85.58	348.57	353.41
Yeongwol	1	48.8	61.1	73.9	0.22	0.31	0.38	300.13	325.11	326.71
	2	31.7	40.4	46.0	3.16	4.32	5.07	467.7	501.23	504.34
	1 + 2	80.5	101.5	119.9	3.38	4.63	5.45	767.83	826.34	831.05
Wonju	1	7.6	46.5	61.5	0.04	0.19	0.30	19.68	150.26	153.93
	2	10.1	48.6	72.8	0.75	3.91	5.66	90.79	359.81	363.81
	1 + 2	17.7	95.1	134.3	0.79	4.10	5.96	110.47	510.07	517.74
Inje	1	25.3	59.3	72.0	0.07	0.20	0.27	49.98	171.29	173.22
	2	24.0	60.6	71.9	1.35	2.62	3.51	348.38	686.42	688
	1 + 2	49.3	119.9	143.9	1.42	2.82	3.78	398.36	206.65	861.22
Jeongseon	1	82.5	111.9	127.2	0.49	0.56	0.67	171.44	312.88	315.81
	2	33.8	55.7	60.4	5.71	6.73	7.97	320.24	528.33	530.19
	1 + 2	116.3	167.6	187.6	6.20	7.29	8.64	491.68	130.12	846
Cheorwon	1	5.6	7.6	9.4	0.01	0.03	0.06	20.94	53.27	56.81
	2	2.4	4.3	4.7	0.21	0.49	0.82	34.78	103.65	104.72
	1 + 2	8.0	11.9	14.1	0.22	0.52	0.88	55.72	66.68	161.53
Chuncheon	1	30.2	92.5	135.3	0.13	0.48	0.74	30.07	93.55	96.63
	2	54.5	122.2	144.7	2.26	7.19	10.41	235.95	575.18	578.33
	1 + 2	84.7	214.7	280.0	2.39	7.67	11.15	266.02	435.91	674.96
Taebaek	1	32.2	46.5	49.8	0.26	0.35	0.42	40.66	69.23	71.57
	2	9.9	24.9	26.1	2.82	4.27	5.02	80.31	137.67	140.9
	1 + 2	42.1	71.4	75.9	3.08	4.62	5.44	120.97	206.9	212.47
Pyongchang	1	59.2	109.1	127.5	0.39	0.62	0.71	131.4	197.85	202.13
	2	38.2	69.5	83.9	5.64	9.11	10.35	437.86	624.04	628.95
	1 + 2	97.4	178.6	211.4	6.03	9.73	11.06	569.26	821.89	831.08
Hongcheon	1	54.3	81.5	130.5	0.22	0.40	0.69	133.82	205.88	218.35
	2	88.8	130.4	164.7	3.99	7.10	10.67	755.17	983.6	997.18
	1 + 2	143.1	211.9	295.2	4.21	7.50	11.36	888.99	1189.48	1215.53
Hwacheon	1	24.1	52.9	65.2	0.16	0.26	0.31	13.82	155.94	157.98
	2	17.5	41.3	48.1	1.79	3.10	3.67	42.81	310.94	312.07
	1 + 2	41.6	94.2	113.3	1.95	3.36	3.98	56.63	466.88	470.05
Hoengseong	1	17.3	71.2	115.4	0.09	0.44	0.75	41.79	158.61	169.25
	2	30.9	75.1	113.0	1.55	6.27	10.26	128.51	450.29	460.44
	1 + 2	48.2	146.3	228.4	1.64	6.71	11.01	170.3	608.9	629.69
Total	1	518.9	1122.7	1435.5	2.69	5.85	7.96	1416.2	2996.53	3068.75
	2	432.9	867.4	1103.5	36.96	79.06	106.28	3726.44	6644.88	6712.02
	1+2	951.8	1990.1	2539.0	39.65	84.91	114.24	5142.64	9641.41	9780.77

#### 4. 결 론

본 연구는 국가 및 지자체가 산사태 예방을 위한 예산투입 및 대책 마련 등의 의사결정시 우선순위를 결정할 수 있도록 지원하는데 목적을 두고 연구를 수행하였다.

이를 위해서 산사태 위험지도 제작기법을 정립하고,

위험요소를 도로, 건물, 산림 등으로 세분화하여 지자체별 피해 예측규모를 산출하였다.

그 결과 위험등급의 경우 기존 산사태 발생빈도가 67.44%에 해당하는 1등급과 2등급으로 구분하였으며, 누적강우량에 따른 산사태 발생 기준을 100mm(주의보), 200mm(경보), 300mm(발생)로 세분화하였다. 또한 누적강우량에 따른 산사태 발생기준에 따라 도로,

건물, 산림에 대한 9개의 산사태 위험지도를 제작하였다.

산사태 위험지도를 이용한 지자체의 피해 예측규모를 분석한 결과 도로의 경우 누적강우량 기준 100mm(주의보), 200mm(경보) 300mm(발생)의 호우 발생시 홍천, 춘천, 홍천 순으로 분석되었으며, 건물의 경우 정선, 평창, 홍천 순으로 분석되었다. 산림의 경우는 모두 홍천으로 분석되었다.

본 연구의 한계로는 철원, 화천, 양구, 고성,의 북부지역 일부에 대한 자료취득이 어려워 산사태 피해 예측규모를 산정할 수 없었다. 그리고 현 시점에서 피해 예측규모의 정확도를 검증하는 데는 한계가 있었다. 다만 일부 검증된 기존 연구성이나 사례를 기초로 본 연구 결과가 분석되었기 때문에 지자체에서 산사태 피해예방 및 복구 등의 재해업무나 예산을 수립하는데 기초의사결정 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 산림청에서 제공하는 산사태위험지도와 비교 분석을 수행하거나, 기존 산사태 발생지역에 대한 추가 DB 확보를 통해 연구성과의 객관성 확보를 위한 추가 연구가 요구된다.

## References

1. Choi, K., 1989, Methodologies for landslide prediction and prevention efforts, Research Databases of Korea Forest Research Institute, No. 27, pp. 1-3.
2. Ham, D. H. and Hwang, S. H., 2014, Review of landslide forecast standard suitability by analysing landslide-inducing rainfall, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 14, No. 3, pp. 299-310.
3. Jeon, W. H., 2006, An assessment for effect of landslide on maximum Accumulated Rainfall using GIS, Master's Degree Thesis, Kangwon National University.
4. Lee, M. G., 2011, Landslide susceptibility mapping using frequency ratio and logistic regression model in the bukgun-dong area, Gyeongju, Korea, Master's Degree Thesis, Kyungpook National University.
5. Park, J. K., Yang, I. T., Kim, T. H., Park, H. G., 2008, Extraction of landslide risk area using GIS, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 26, No. 1, pp. 27-39.
6. Pyo, S. I., 2005, Analysis of landslide hazard prediction map using remotely sensed data & GIS technic in Samcheok-city, Kangwon-do, Master's Degree Thesis, Chungnam National University.
7. Quan, H. C., Lee, B. G., Lee, C. S., Ko, J. W., 2011, The landslide probability analysis using logistic regression analysis and artificial neural network methods in Jeju, Journal of the Korea Society for Geospatial Information System, Vol. 19, No. 3, pp. 33-40.
8. Yang, I. T., Chun, K. S., Park, J. K., Lee, S. Y., 2007, An estimation to landslide vulnerable area of rainfall condition using GIS, Journal of the Korea Society for Geospatial Information System, Vol. 15, No. 1, pp. 39-46.
9. Yang, I. T., Park, J. K., Jeon, W. H., Chun, K. S., 2007, An evaluation of landslide probability by maximum continuous rainfall in Gangwon, Korea, Journal of the Korea Society for Geospatial Information System, Vol. 15, No. 4, pp. 11-20.
10. Yoo, N. J., and others, 2012, Analysis of rainfall characteristics and landslides at the west side area of Gangwon province, Journal of the Korean Geoenvironmental Society, Vol. 13, No. 9, pp. 75-82.