

GIS를 이용한 광역적 산사태 취약성, 가능성, 위험성 평가 기법 적용

이사로*

*한국지질자원연구원 국가지질자원정보센터

Application of Regional Landslide Susceptibility, Possibility, and Risk Assessment Techniques Using GIS

Saro Lee*

National Geoscience Information Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 30, Kajeong-dong, Taejeon, 305-350, Korea

There are serious damage of people and properties every year due to landslides that are occurred by heavy rain. Because these phenomena repeat and the heavy rain is not an atmospheric anomaly, the counter plan becomes necessary. The study area, Ulsan, is one of the seven metropolitan, and largest cities of Korea and has many large facilities such as petrochemical complex and factories of automobile and shipbuilding. So it is necessary assess the landslide hazard potential. In the study, the three steps of landslide hazard assessment techniques such as susceptibility, possibility, and risk were performed to the study area using GIS. For the analyses, the topographic, geologic, soil, forest, meteorological, and population and facility spatial database were constructed. Landslide susceptibility representing how susceptible to a given area was assessed by overlay of the slope, aspect, curvature of topography from the topographic DB, type, material, drainage and effective thickness of soil from the soil DB, type age, diameter and density from forest DB and land use. Then landslide possibility representing how possible to landslide was assessed by overlay of the susceptibility and rainfall frequency map. Finally, landslide risk representing how dangerous to people and facility was assessed by overlay of the possibility and the population and facility density maps. The assessment results can be used to urban and land use plan for landslide hazard prevention.

Key words : GIS, landslide, susceptibility, possibility, risk

우리나라는 매년 여름철 집중호우로 인한 산사태로 인한 인명 및 재산 피해가 계속 반복적으로 발생하고 있다. 이러한 현상은 반복적으로 발생하고 있고, 집중호우도 기상이변이 아닌 반복적으로 발생하고 있어, 이에 대한 대책마련이 시급한 현실이다. 그리고 연구지역인 울산광역시에는 대규모 석유화학단지뿐만 아니라 자동차 공장, 조선소 등 대규모 시설물들이 집중되어 있는 지역으로, 따라서 광역적인 산사태 평가 기법을 적용하였다. 산사태 평가를 위해 연구지역의 지형, 지질, 토양, 임상, 토지이용, 기상, 인구, 시설물 등 각종 DB를 수집 및 구축하였으며, 이를 이용하여 취약성, 가능성, 위험성 순으로 산사태 분석을 실시하였다. 취약성은 강우, 지진 등 산사태를 직접적으로 유발시키는 요인이 발생하였을 때 그 지역이 얼마나 산사태 발생에 취약한가를 나타내는 것으로, 지형 DB에서는 경사, 경사방향, 지형곡률 등을, 토양 DB에서는 종류, 모재, 배수, 유효토심 등을, 임상 DB에서는 종류, 경급, 영급, 밀도 등을 그리고 토지이용 등을 중첩하여 분석하였다. 그리고 가능성은 산사태 유발요인을 가정한 후 산사태가 일어날 가능성을 나타내며, 취약성 분석 결과에 확률강우량을 중첩하여 분석하였다. 위험성은 산사태 발생시 인명 및 시설물의 피해 가능성을 나타내며, 가능성 분석 결과에 피해요소인 인구, 시설물 등을 중첩하여 분석하였다. 이러한 연구결과는 산사태 피해 예방을 위한 도시계획 및 토지이용 계획의 기초자료로서 사용될 수 있다.

주요어 : 지리정보시스템, 산사태, 취약성, 가능성, 위험성

*Corresponding author: leesaro@kigam.re.kr

1. 서 론

우리나라는 여름철 집중호우로 인한 산사태 피해가 계속 반복적으로 발생하고 있다. 이러한 산사태는 기상 이변에서 발생하는 현상이 아닌 계속적으로 발생하는 예측 가능한 현상으로 이에 대한 과학적인 연구 및 이를 토대로 산사태 위험 지역에 대한 평가 및 예측이 필요하다. 또한 이러한 산사태 및 산사태 위험 지역에 대한 중앙정부 및 지방자치단체에서의 체계적인 관리도 요구된다. 따라서 본 연구에서는 GIS를 이용하여 기존의 산사태 관련 요인의 분석을 통한 산사태 평가 기법을 적용하고 이를 울산광역시에 적용하여 체계적인 관리 방안을 제시를 목적으로 하였다.

연구지역인 울산광역시(Fig. 1)는 한반도 동남부에 위치한 항구도시이고 공업도시로서 면적이 1,055.7 Km², 인구가 1,012,000명인 한국 7대 도시의 하나이다. 그리고 대규모 석유화학단지를 비롯하여 자동차 공장, 조선소, 농공단지 등 대규모 시설물들이 집중되어 있는 지역이다. 본 연구에서는 이러한 울산광역시에 대해 광역적인 산사태 평가를 실시하였다. 산사태 평가를 위해 연구지역의 지형, 지질, 토양, 임상, 토지 이용, 기상, 인구, 시설물 등 각종 DB를 수집 및 구축하였으며, 이를 이용하여 산사태 평가를 실시하였다.

산사태 평가는 취약성(Susceptibility), 가능성(Possibility), 위험성(Risk) 평가를 실시하였다. 산사태 취약성은 강우, 지진 등 산사태를 직접적으로 유발시키는 요인이 생겼을 때 그 지역이 얼마나 산사태 발생에 취약한가를 평가한 것이고, 산사태 가능성은 어떤 지역의 산사태 취약성에 강우, 지진 등 산사태 유발 요인의 발생 가능성을 더해 그 지역에서 산사태가 얼마나 잘 일어날 수 있는가를 평가한 것이다. 여기서 이러한 산사태 유발요인을 가정한 후 산사태 가능성을 예측할 수 있다. 그리고 산사태 위험성은 산사태 취약성 혹은 가능성에 인명, 시설물 등 피해요소를 같이 고려한 것으로 산사태로 인해 인명 및 시설물의 피해 가능성이 얼마인가를 평가한 것이다. 즉 아래와 같은 식으로 표현될 수 있다(Einstein, 1988, 이사로 외, 2000).

$$\text{Susceptibility} = f(\text{Landslide, Landslide related factors}) \quad (1)$$

$$\text{Possibility} = f(\text{Susceptibility, Impact factors}) \quad (2)$$

$$\text{Risk} = f(\text{Possibility, Damageable objects}) \quad (3)$$

따라서 본 연구에서는 산사태 취약성 평가를 위해 지형 DB에서 경사, 경사방향, 지형곡률 등을, 토양 DB에서 종류, 모재, 배수, 유효토심 등을, 임상 DB에

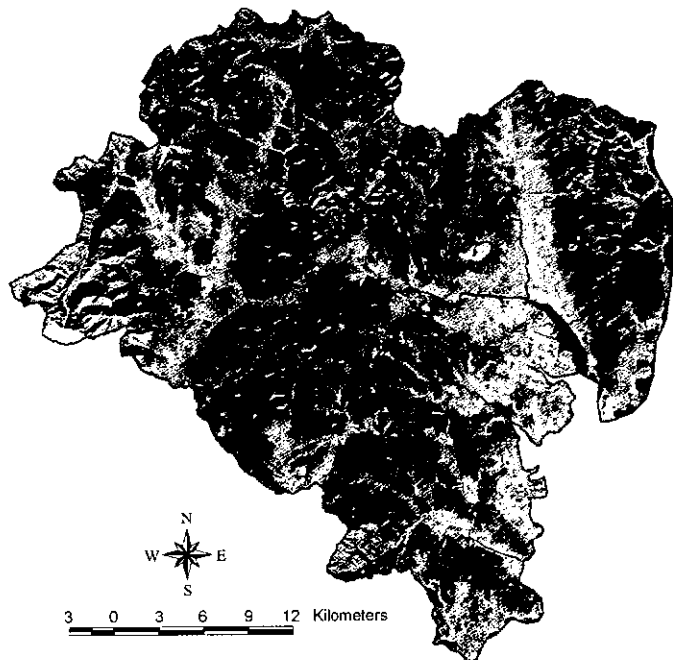


Fig. 1. IRS satellite image and administrative district of study area, Ulsan city.

서 임상종류, 경급, 영급, 밀도 등을 그리고 토지이용을 이용하여 각 요인에 대해 등급값을 주고 이를 중첩 분석하여 산사태 취약성을 평가하였다. 그리고 산사태 가능성 평가는 취약성 평가 결과에 산사태 발생 요인인 강우를 고려하기 위해 확률강우량을 중첩 분석하여 평가하였다. 마지막으로, 산사태 위험성 평가는 가능성 평가 결과에 피해요소인 인구 및 시설물을 중첩 분석하여 평가하였다.

2. 연구지역 공간 DB

산사태 취약성, 가능성, 위험성 평가를 위하여 울산 광역시에 대해 각종 공간 DB가 구축되었다. 이러한 공간 DB는 Table 1과 같다. 먼저 지형도의 경우 국립지리원의 1:50,000 지형도의 등고, 수계, 도로망 등을 공간 DB를 이용하였다. 이러한 지형도 공간 DB는 등고, 수계, 도로, 철도 등 총 4개의 공간 DB로 구성되며 각각 선 속성을 가진다. 이중 등고를 이용하여 DEM(Digital Elevation Model)을 작성하였다. 자료의 해상도 즉, 격자의 크기는 중축척은 30 m×30 m 이다. 지형경사도 공간 DB는 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 지형 경사값을 계산하여 얻었다. 지형경사방향도 공간 DB는 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 지형 경사방향값을 계산하여 얻었다. 지질도 공간DB의 경우 1:50,000과 1:250,000 지질도의 암상 정보를 공간DB를 이용하였다. 토양의 경우 농업과학기술원의 1:50,000 개략토양도의 토양

종류, 모재, 배수 지형, 유효토심 등의 공간DB를 이용하였다. 토양도는 종류, 모재, 배수, 유효토심, 지형 등의 정보를 가지고 있으며, 종류는 토양 분류 체계 및 특성에 따른 종류를 나타내며, 모재는 토양이 어떤 암상으로부터 형성되었는가를, 배수는 물의 얼마나 잘 배수되는가를, 유효토심은 토양의 유효 두께를, 지형은 토양이 분포한 지역의 지형을 각각 나타내준다. 임상도의 경우 임업연구원의 1:25,000 임상도의 임상, 경급, 영급, 산림밀도 등의 공간 DB를 이용하였다. 임상도는 1:25,000 임상도 공간 DB를 이용하였다. 이러한 임상도는 임상구분, 경급, 영급, 밀도 등의 정보를 가지고 있다. 임상구분은 크게 임목지, 무림목지, 제지, 임간나지로 구분되어 수종 및 임상 등의 정보를 가지고 있다. 경급은 나무의 흉고직경의 길이를 나타내며, 영급은 수령을 나타낸다. 밀도 구분은 나무의 밀도에 나타낸다(임업연구원, 1998). 토지이용도 공간DB는 위성영상인 LANDSAT 영상을 가하학적으로 보정한 후 분류기법을 적용 영상 처리를 통해 구축하였다. 인명(행정구역도) 공간 DB는 읍면동 별 도, 시, 군, 구, 읍, 면, 동 등의 행정구역명과 우편번호, 인구수, 가구수, 세대수, 주택수 등의 정보가 들어있다. 시설물 공간DB는 지질재해 발생시 피해를 받을 수 있는 전국의 시설물들을 대상으로 자연휴양시설물, 교통관련 시설물, 공공시설물, 교육종교 시설물 및 생산관련 시설물 등 각종 시설물 점 속성을 가지는 공간 DB를 이용하였다. 그리고 이 중 규모가 비교적 큰 시설물은 면 속성을 가지는 공간 DB를 이용하였다. 이러한 인명 및 시설

Table 1. Constructed GIS layers in Ulsan city.

Layer	Source data	Scale	Data type
Administrative district	Topographic map	1:5,000	Coverage
Facility	Topographic map	1:5,000	Coverage
Contour line	Topographic map	1:50,000	Coverage
Drainage	Topographic map	1:50,000	Coverage
Road	Topographic map	1:50,000	Coverage
DEM (Digital elevation model)	Contour of topographic map	1:50,000	GRID
Hillshaded image	DEM	1:50,000	Image
Slope	DEM	1:50,000	GRID
Aspect	DEM	1:50,000	GRID
Geology	Geological map	1:250,000	Converage
Fault	Geological map	1:25,000	Converage
Soil	Soil map	1:25,000	Converage
Forest	Forest map	1:25,000	Converage
IRS Pan image	IRS Pan image	5 m×5 m	Image
LADNSAT TM Image	Landsat TM image	30 m×30 m	Image
Land use	Landsat TM image	30 m×30 m	GRID

물 공간 DB는 (주)지오윈으로부터 자료를 협조받아 사용하였으며, 이러한 공간 DB는 지형도 및 현장조사를 통해 제작되었다.

3. 산사태 취약성 평가

기존의 용인 지역에 적용된 기법 및 평가 결과(이사로와 민경덕, 2000; Lee and Min, 2001)를 이용하여 울산광역시에 대해 산사태 취약성 평가를 실시하였다. 먼저 산사태 취약성 평가를 위해 산사태 관련 요인들 크기를 30 m로 한 격자 형태를 가지는 ARC/INFO GRID 형태로 변경하였다. 그리고 이러한 요인들을 등급값은 기존의 연구결과를 기본으로 하여 확률 기법으로 구한 산사태 발생 비율값으로 주고, 모든 요인들을 모두 더하여 취약성 지수값을 구하였다. 즉 확률의 교

차분식(Crosstabulation)법을 이용하여 각 요인의 종류 혹은 범위별로 산사태 발생 유무에 대한 면적 비율을 구한 후, 이렇게 구해진 각 요인의 종류 혹은 범위별 면적 비율을 산사태 발생 면적 비율을 각 요인의 같은 범위 혹은 종류의 분포 면적 비율로 나눈 값으로 등급값을 구하였다(이사로, 2000). 예를 들어 지질도에 나타난 화강암 면적의 합과 화강암이 분포하는 지역에서 발생한 산사태 면적의 비율을 구하여 그 비율을 화강암의 산사태 등급값으로 추정하였다. 이렇게 추정된 등급값을 주제별로 중첩하여 각 격자에서의 취약성 지수값을 구하였다. 이러한 취약성 지수값은 격자별 중첩을 통해 주제별 등급값을 모두 합산하여 계산하였다. 등급 값을 더할 때 각 요인의 가중치는 1로 모두 같게 주었으나 각 요인간의 상대적 중요도인 가중치에 대한 연구가 필요하다. 평가에 이용된 요인은 경사, 경

Table 2. Range and rating of topographic, soil, forest, and land use.

Slope (degree)		Rating	Curvature	Rating	Soil drainage		Rating	
0 - 5		0.10	< -9	2.08	Rock		0.00	
6 - 9		0.27	-8	3.00	Very poorly drained		0.01	
10 - 13		0.79	-7	2.14	Poorly or very poorly		0.06	
14 - 17		1.32	-6	2.55	Poorly drained		0.10	
18 - 23		1.72	-5	2.21				
24 - 29		2.09	-4	1.97	Somewhat poorly or poorly drained		0.13	
30 - 37		2.15	-3	1.69	Moderately well or poorly drained			
38 - 86		1.51	-2	1.16	Somewhat poorly drained		0.15	
Aspect		Rating	-1	0.99	Moderately well or somewhat poorly drained		0.16	
Flat Area		0.13	0	0.55	Moderately well or well drained		0.59	
S		0.70	1	0.86	Somewhat poor or well drained			
SE		0.74	2	0.87	Moderately well or excessively drained		0.94	
SW		1.01	3	1.04	Well drained		1.02	
W		1.08	4	1.03	Soil Well or excessively drained		1.37	
NW		1.13	5	0.90				
E		1.16	6	0.77	Excessively drained		1.72	
N		1.39	> 7	0.83				
NE		1.71						
Topographic Type				Rating	Soil material			Rating
Plateau, Tidal flat, Alluvium fan, Dune, River and sea flood area, Plainalluvium				0.00	Diluvium, Alluvium			0.02
Lower hilly plateau				0.05	Fluvial and marine alluvium			
Piedmont slope area, Mountainous piedmont slope area				0.22	Fluvial			0.04
Hilly area				1.00	Valley alluvium			0.20
Mountainous area				1.33	Alluvial colluvium, Limestone colluvium, Acidic rocks colluvium and sediment, Sedimentary rock colluvium and sediment, Neutral or basic rock colluvium and sediment			0.36
Mountainous and hilly vally alluvium, Lower hilly vally alluvium				1.90	Acidic rock, Limestone residuum, Metamorphic sedimentay rock and schist residuum, Diluvium, Acidic, neutral, basic and sedimentarily rock residuum, Neutral or basci rock residuum			1.58
Rock				2.00				

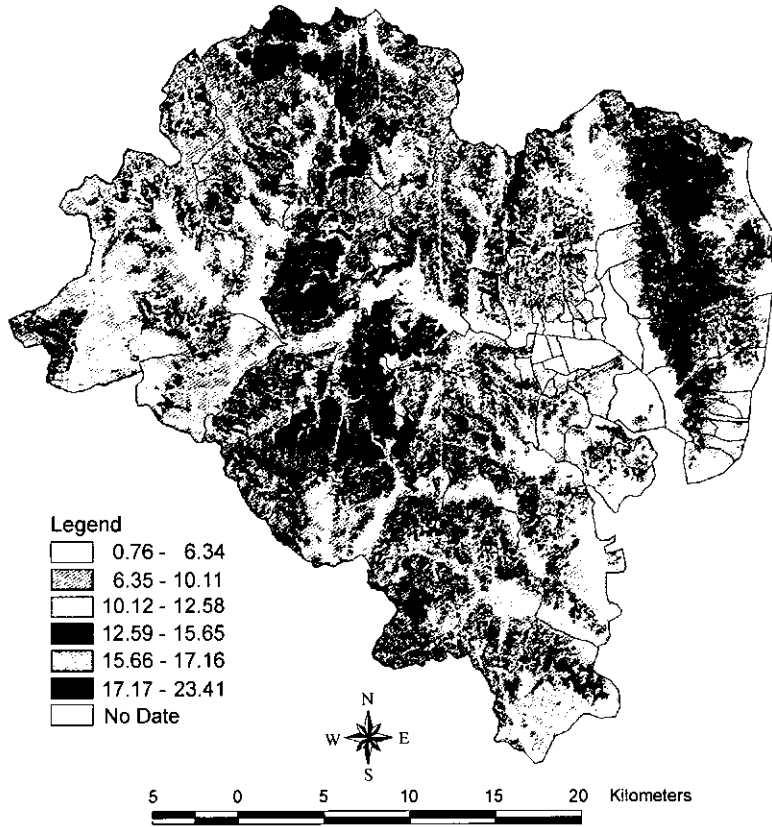


Fig. 2. Landslide susceptibility map of Ulsan.

Table 3. Distribution of susceptibility index per administrative district.

Administrative District	Area (Km ²)	Area × Rating	Mean Index
Ulju-Gu	751.89	954.16	12.69
Dong-Gu	44.27	430.49	9.73
Nam-Gu	74.19	652.48	8.79
Jung-Gu	36.25	349.06	9.63
Buk-Gu	156.31	1914.43	12.25

4. 산사태 가능성 평가

산사태 가능성은 취약성 결과에 강우량 즉 본 방재 공간DB에 구축되어 있는 확률강우량도 공간 DB를 중첩하여 평가하였다. 가중치 즉 상대적 중요도는 취약성도 및 확률강우량도를 같게 주었다. 본 가능성 평가에 사용된 확률강우량도는 건설부에서 우리나라 전역의 188개 우량관측점의 장기간 우량자료를 사용하여 빈도분석방법에 의해 지속기간이 30분, 1, 2, 3, 6, 12, 24

시간이고 재현기간이 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200년에 대한 강우빈도도 혹은 확률강우량도(rainfall frequency map) 49개를 만들었으며(건설부, 1988), 현재 우리나라 실무에서 많이 사용되고 있다(윤용남, 1998). 본 연구에서는 이러한 확률강우량도를 사용하였고 평가를 위해 자료의 해상도 즉 격자의 크기를 1 km×1 km로 하여 공간 DB로 구축한 후, 총 49개 중 지속기간이 24시간이고 재현기간이 5년인 것을 사용하였다. 우리나라의 경우 산사태가 주로 집중호우로 인해 발생하므로 이러한 확률강우량도의 사용이 적절하다. 이러한 확률강우량도는 지속시간 및 재현기간에 따라 많은 경우의 수가 있으나, 우리나라의 산사태 발생 양상이 기존의 연구결과(박용완, 1993)에 의하면 24시간 동안 200 mm 이상일 경우 산사태가 발생한다는 점을 고려하여 지속시간이 24시간, 재현기간 5년인 것을 사용하였다. 확률강우량도의 등급 구분은 등 면적으로 5등분하여 각각 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 값을 주었다(Table 4). 이는 기존에 검증된 연구 결과가 없고, 본 연구지역이 협소하여 확률강우량도의 분류가 별로 차이가 나지 않아 등

Table 4. Range and rating of rainfall frequency.

Rainfall frequency range (mm)	Rating
147 - 163	0.20
164 - 171	0.40
172 - 177	0.60
178 - 179	0.80
180 - 180	1.00

급 값을 위와 같이 주었다. 이 값 역시 산사태 취약성 지수 값에 더하여 산사태 가능성 지수 값을 계산하였다. 이러한 산사태 가능성 지수 값을 등 면적으로 분류한 도면은 Fig. 3과 같다.

이와 같이 취약성에 확률강우량을 중첩 분석한 가능성 평가 결과인 가능성 지수 값의 최소 값은 1.18, 최대 값은 23.61 및 평균값은 12.93이다. 이러한 가능성 지수 값이 높을수록 산사태 발생 가능성이 높다는 것을 의미하며 반대로 지수 값이 낮을수록 산사태 발생 가능성이 낮다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 이러한 가능성 지수값을 행정구별

Table 5. Distribution of possibility index per administrative district.

Administrative District	Area (Km ²)	Area× Rating	Mean Rating
Ulju-Gu	730.72	9777.21	13.38
Dong-Gu	7.00	78.49	11.21
Nam-Gu	73.41	707.56	9.64
Jung-Gu	36.25	369.78	10.20
Buk-Gu	145.74	1903.65	13.06

분석하였는데, 울산광역시 내의 구별로 면적을 고려하여 분류하면 Table 5와 같다. 취약성 분석 결과와 비슷하게 울주구와 북구가 면적을 고려한 평균값이 각각 13.38, 13.06으로 높았으며, 남구, 동구, 중구는 9에서 11사이의 값을 나타냈다. 이와 같이 울주구 및 북구가 평균 가능성 지수 값이 높게 나타났으며, 이 지역은 취약성 지수 값이 다른 구에 비해 높은 지역이나 취약성 지수 값에 비해 다른 지역과의 편차가 줄어들었다.

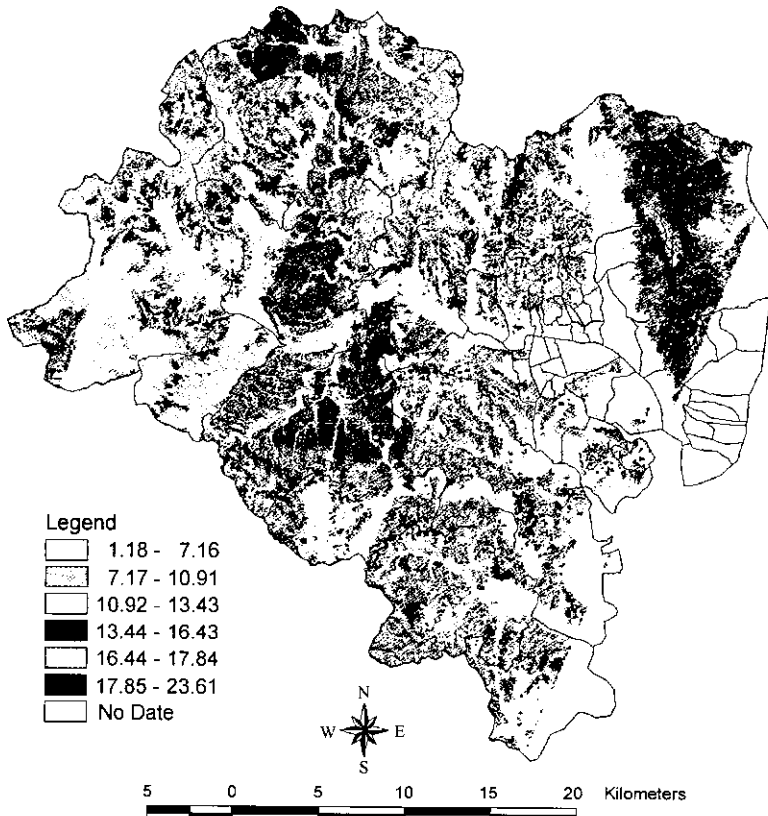


Fig. 3. Landslide possibility map of Ulsan.

5. 산사태 위험성 평가

산사태 위험성 평가는 두 가지 방법을 통해 평가하였다. 첫 번째 방법은 연구지역에 분포하는 인구 및 시설물의 밀도를 각각 구하여 이를 산사태 가능성 평가결과에 중첩하여 연구지역의 전체적인 산사태 위험성을 평가하였고, 두 번째 방법은 도로, 철도, 건물 등 각종 시설물의 개별 자료를 이용하여 이를 산사태 가능성 평가결과에 중첩하여 개별 시설물의 산사태 위험성을 평가하였다.

첫 번째 방법은 산사태 가능성 평가결과에 본 연구지역에 분포하는 인구 및 시설물 등의 밀도를 중첩하여 평가하였다. 가중치는 산사태 가능성 및 피해대상물을 각각 1로 주었다. 피해대상물의 등급을 구하기 위해 인구 분포 및 점 시설물의 밀도를 합하여 구하였고, 피해대상물은 등 면적으로 10등분하였고, 등급 값은 취약성 평가에 사용된 13개 요소의 최대 가능 등급 값인 13을 기준으로 하여 인구 분포 및 시설물 밀도를 각각 최대치를 6.5로 주어 이 값을 기준으로 10등분하

Table 6. Range and rating of population and facility density.

Population range	Rating	Facility density range	Rating
1007-4455	0.65	0	0.65
4720-5235	1.30	1	1.30
6236-9971	1.95	2	1.95
10346-10346	2.60	3	2.60
10551-10652	3.25	4	3.25
10730-18159	3.90	5	3.90
18185-21002	4.55	6-7	4.55
21871-23378	5.20	8-9	5.20
25046-30477	5.85	10-17	5.85
38984-38984	6.50	18-32	6.50

여 각 등급 값을 주었다(Table 6). 이 값 역시 산사태 가능성 지수 값에 더하여 산사태 위험성 지수 값을 계산하였다. 이러한 산사태 위험성 지수 값을 등 면적으로 분류한 도면은 Fig. 4와 같다. 이러한 결과는 연구지역의 광역적인 위험성을 평가하는데 이용될 수 있다.

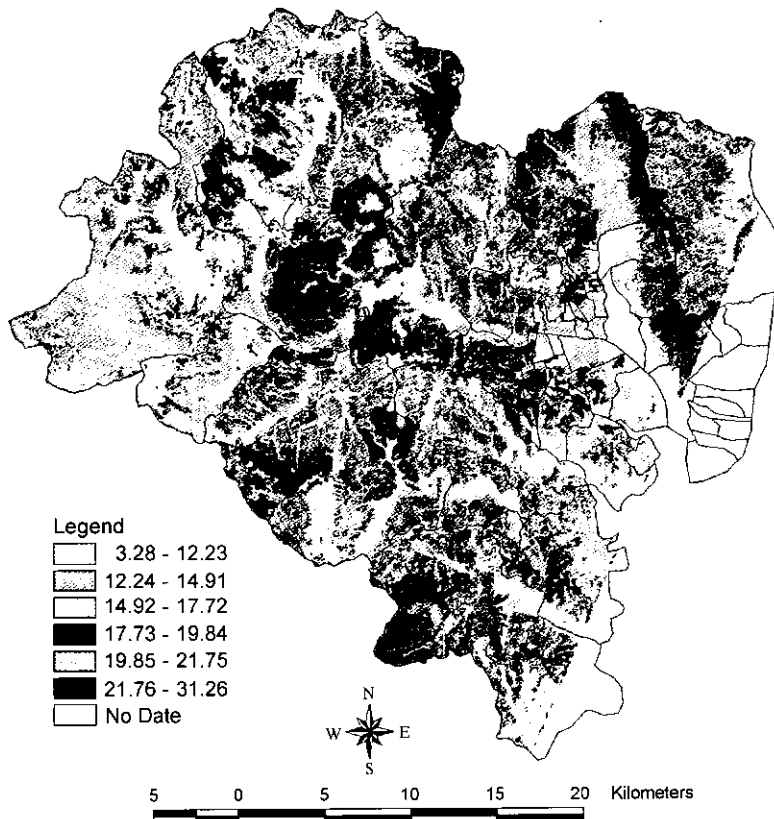


Fig. 4. Landslide risk map of Ulsan.

Table 7. Distribution of risk index per administrative district.

Administrative District	Area (Km ²)	Area× Rating	Mean Rating
Ulju-Gu	730.31	12473.04	17.08
Dong-Gu	7.11	108.12	15.20
Nam-Gu	73.44	1176.81	16.02
Jung-Gu	36.27	620.10	17.10
Buk-Gu	145.68	2618.29	17.97

이와 같이 가능성에 피해대상물을 중첩 분석한 위험성 평가 결과인 위험성 지수 값의 최소 값은 3.28, 최대 값은 31.26 및 평균값은 17.12이다. 이러한 위험성 지수 값이 높을수록 산사태 발생 가능성 및 피해 가능성이 높다는 것을 의미하며 반대로 지수 값이 낮을수록 산사태 발생 가능성 및 피해 가능성이 낮다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 이러한 위험성 지수 값을 행정구별 분석하였는데, 울산광역시 내의 구별로 면적을 고려하여 분류하면 Table 7과 같다. 그 결과는 북구, 울주구, 중구, 남구 등의 값이 비슷하게 나타났는데 이는 북구, 울주구의 경우는 산사태 취약성 및 가능성 지수 값이 높지만 피해요소가 적고, 반대로, 중구, 남구 지역은 산사태 취약성 및 가능성 지수 값이 낮지만 피해요소가 많아 이와 같이 나타났다.

두 번째 방법은 도로, 철도, 건물 등 개별 시설물의 위험성 평가를 위해 1:5,000 수치지도에 산사태 가능성 도면을 중첩하여 위험성을 평가할 수 있게 하였다. 즉 1:5,000 수치지도의 도로, 철도, 건물 등의 시설물들의 자료를 산사태 가능성 분석결과와 중첩하여 각 시설물별로 산사태에 얼마나 위험한지를 분석할 수 있다. 이러한 위험성 평가 방법은 개별 시설물의 위험성을 평가하는데 이용될 수 있다.

6. 결론 및 토의

본 연구에서는 울산광역시에 대해 광역적 산사태 취약성, 가능성, 위험성 평가 기법을 적용하였다. 이러한 평가에 있어 GIS를 이용하여 분석을 빠르고 정확하게 할 수 있었다. 이러한 평가 기법 적용을 위해, 먼저 공간 DB를 이용하여 산사태 취약성 평가에 필요한 요인을 추출하였다. 즉 지형 DB를 이용하여 DEM을 작성한 후, 경사, 경사방향, 지형곡률 등을 계산하였고, 토양 DB에서 토질, 모재, 배수, 유효토심 등을, 임상 DB에서 임상종류, 경급, 영급, 밀도 등을 그리고 토지 이용 등 평가에 필요한 요인을 추출하였다. 그리고 이

러한 요인을 이용하여 중측적 분석을 실시하여 산사태 취약성평가를 하였고, 이러한 결과에 확률 강우량도를 중첩분석하여 산사태 가능성을 평가하였다. 마지막으로 산사태 가능성 평가 결과에 인구 및 각종 시설물 자료를 중첩하여 산사태 위험성 평가를 하였다. 이러한 산사태 분석 결과 행정구역별로는 취약성 및 가능성 지수값은 울주군, 북구, 동구, 남구, 중구 순으로, 위험성 지수값은 북구, 울주구, 중구, 남구, 동구 순으로 나타났다. 그리고 취약성 지수값의 평균은 10.62, 표준편차는 1.74, 가능성 지수값의 평균은 11.50, 표준편차는 1.67, 위험성 지수값의 평균은 16.68, 표준편차는 1.08로 취약성에서 위험성으로 갈수록 평균값은 높게, 표준편차값은 적게 나타났다. 평균값이 높아지는 것은 고려되는 요인이 많아져서 값이 높아지는 것이고, 표준편차값이 낮아지는 것은 취약성의 경우 산악지대에 값이 높게 나타나나, 이 지역은 인구, 시설물 등 피해요소가 적게 분포하여 위험성 분석에서는 표준편차값이 적게 나타났다.

본 연구에서는 취약성, 가능성 및 위험성 평가 시 사용된 각 확률강우량도, 인구, 시설물 분포에 대한 등급 값의 설정을 검증된 자료가 없이 적절히 주어 사용하였는데 앞으로 이에 대한 연구 및 검증이 필요할 것이다. 또한 각 요인간의 상대적인 중요성 즉 가중치를 같게 주었는데, 산사태 발생자료에 근거한 가중치를 결정하는 연구도 필요하다. 그리고 가능성 및 위험성 평가시 정밀한 확률강우량도 및 보다 정밀한 인구, 시설물 자료의 적용이 필요하며, 위험성 평가시 위험확률에 따른 비용부담 등 경제개념 도입이 필요하다. 즉 본 연구에서 적용된 기법들이 산사태 평가 기법의 표준으로서 많이 활용될 수 있게 하기 위해서는 본 연구에서는 광역적인 평가를 하였으나, 향후 가능성 및 위험성 평가의 적용시 선택 기준 및 적용 방법에 있어 더 많은 분석결과에 기초하고 정밀한 자료를 이용한 연구가 요구된다. 결국 이러한 과정을 통해 평가 기법을 개발 및 적용하여 기법을 점차 향상시켜 나가 우리나라 현실에 맞는 표준화된 산사태 평가를 실시하고 이를 적극 활용해야 할 것이다. 또한 GIS를 이용하여 산사태에 대한 관리 및 평가를 과학적이고 효율적으로 할 수 있으며, 산사태 자료의 지속적인 수집 및 DB 구축과 관리 및 평가를 통해 산사태 예측 및 예방에 기여할 수 있을 것이다. 또한 이러한 평가 결과는 산사태 피해 예방을 위해 방재 사업, 국토개발 계획, 건설계획 등에 기초자료로 이용될 수 있다. 다행히 본 연구에 사용된 지형, 토양, 임상, 지질 등 산사태 관련

공간DB는 이미 전국을 대상으로 대부분 구축되어 있는 상태이므로 이를 잘 활용하면 적은 비용과 빠른 시간에 전국적으로 산사태 평가를 할 수 있을 것이다(이사로, 1998).

참고문헌

- 건설부 (1988) 수자원 관리기법 개발연구 조사보고서, 별책부록 제2권 한국확률강우량도, 제3권 한국가능최대수량도, 71p.
- 김원영, 채병근, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 이사로, 이봉주 (2000) 산사태 예측 및 방지기술 연구, 과학기술부, p. 52-76.
- 박용원, 김광래, 여운광 (1993) 1991년 용인-안성 지역 산사태 연구, 한국지반공학회지, 9권, p. 103-116.
- 윤용남 (1998) 공업수문학, 청문각, 656p.
- 이사로 (1998) GIS를 이용한 지질재해 및 위험 데이터베이스 구축, 제8회 GIS WORKSHOP, p. 337-346.
- 이사로 (2000) 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 연세대학교 박사학위 논문, 163p.
- 이사로, 민경덕 (2000) 공간 데이터베이스를 이용한 1991년 용인지역 산사태 분석, 환경지질학회지, 33권, p. 321-332.
- 임업연구원 (1998) 산림자원조사보고서, p. 139-163.
- Einstein, H. H. (1988) Landslide risk assessment procedure, Proceedings of the fifth international symposium on landslide, v. 2, p. 1075-1090.
- Lee, S. and Min, K. (2001) Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea?, Environmental Geology, v. 40, p. 1095-1113.

2001년 7월 3일 원고접수, 2001년 8월 14일 게재승인.