

공간 데이터베이스를 이용한 1991년 용인지역 산사태 분석

이사로* · 민경덕**

Landslide Analysis of Yongin Area Using Spatial Database

Saro Lee* and Kyung Duck Min**

ABSTRACT: The purpose of this study is to analyze landslide that occurred in Yongin area in 1991 using spatial database. For this, landslide locations are detected from aerial photographs interpretation and field survey. The locations of landslide, topography, soil, forest and geology were constructed to spatial database using Geographic Information System (GIS). To establish occurrence factors of landslide, slope, aspect and curvature of topography were calculated from the topographic database. Texture, material, drainage and effective thickness of soil were extracted from the soil database, and type, age, diameter and density of wood were extracted from the forest database. Lithology was extracted from the geological database, and land use was classified from the TM satellite image. Landslide was analyzed using spatial correlation between the landslide and the landslide occurrence factors by bivariate probability methods. GIS was used to analyze vast data efficiently and statistical programs were used to maintain specialty and accuracy. The result can be used to prevention of hazard, land use planning and construction planning as basic data.

서 론

1991년 7월 21일 서울과 경기지방 등 중부 일원에 집중호우가 내리면서 많은 피해가 발생하였는데, 특히 본 연구지역이 포함된 용인지역에서는 산사태가 잇달아 발생, 13명이 사망하는 등 산사태로 인해 많은 인명 및 재산 피해가 발생했다 (조선일보 1991년 7월 21일자). 이와 같이 우리나라는 여름에 집중호우로 인한 산사태로 막대한 인명 및 재산 피해가 계속되고 있지만 그 대책은 발생 이후의 피해 복구에만 급급한 실정이다. 그러나 산사태의 과학적인 분석을 통해 사전에 산사태 예상지역 및 위험지역을 미리 예측하고 이에 대해 적절한 대책을 세운다면 산사태로 인한 피해를 많이 줄일 수 있다. 그러므로 산사태 발생 가능성을 평가 및 예측함으로써 산사태

로 인한 피해 예방 및 관리를 하기 위해서는 우선적으로 과학적이고 체계적인 산사태 발생 요인 분석이 행해져야 한다. 따라서 본 연구에서는 공간 데이터베이스를 이용하여 산사태 발생 요인 분석을 목적으로 하고, 또한 이러한 분석의 기본 도구로 지리정보시스템 (GIS)을 이용함으로써 방대한 자료 분석을 가능하게 할 뿐 아니라, 효율성도 높이고 관리 및 활용을 극대화하였다.

연구지역인 용인지역은 1991년 집중호우로 산사태가 집중적으로 발생한 지역으로, 1991년 7월 21일 용인과 오산지역에서 2600여개의 산사태가 집중호우 중에 혹은 3~4시간 후에 발생하였고, 산악지역 약 466 ha가 산사태 영향을 받았다. 산사태는 일 강우량 114 mm 이상, 최대 시강우량 40 mm 이상에서 발생하였으며 최대 시강우량이 62 mm를 넘기도 하였다 (박용원 외, 1993). 이러한 용인 지역 중 산사태가 집중적으로 발생한 용인시 남사면, 이동면 및 화성군 동탄면 일부 지역을 연구지역으로 하였다. 연구지역의 위치는 경도가 127.11도에서 127.23도, 위도가 37.14도에서 37.19도 지역이다.

산사태 분석을 위해 먼저 산사태 발생 위치를 파악

* 한국자원연구소 국가지질자원정보센터 (National Geoscience Information Center, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 30, Kajeongdong, Taejeon, 305-350, Korea), E-mail: leesaro@kigam.re.kr

** 연세대학교 지구시스템과학과 (Department of Earth System Science, Yonsei University, 134, Shinchondong, Seoul 120-749, Korea)

하였다. 이를 위해 연구지역인 용인 지역의 항공사진 분석 및 현지 조사 등을 하였고, 이를 통해 파악된 산사태 발생 위치를 데이터베이스로 구축하였다. 그리고 GIS 프로그램을 이용하여 산사태와 관련이 있는 1:5,000 지형도, 1:25,000 정밀토양도 (농업기술연구소, 1973, 1990), 1:25,000 임상도, 1:50,000 지질도 (오인섭, 윤운영, 1972, 오인섭, 박석환, 1973)를 ARC/INFO 커버리지 형태의 공간 데이터베이스로 구축하였다. 이러한 공간 자료는 현재 국내 대부분의 국내 지역에 대해 도면이 제작되어 선택하였고, 가장 축척이 큰 것을 선택하여 사용하였다. 이러한 공간 데이터베이스를 이용하여, 지형 요인의 경우 지형분석을 통해 고도, 경사, 경사방향, 곡률 등의 분포를 데이터베이스로 구축하였고, 토양 요인의 경우 토양도에 있는 토질, 모재, 배수, 유효토심, 지형 등을 데이터베이스로 구축하였다. 그리고 임상 요인의 경우도 임상도에 있는 임상, 경급, 영급, 밀도 등을 데이터베이스로 구축하였고, 지질 요인의 경우는 암상에 대해서 데이터베이스로 구축하였다. 마지막으로 토지이용은 Landsat TM 영상을 분류하여 구축하였다. 이렇게 구축된 데이터베이스는 우선 10 m×10 m 간격의 격자 (ARC/INFO GRID 형태)로 변환하였고, 이들의 확률 분석을 위해 용인 지역에 대해 구축된 데이터베이스를 아스키 파일로 변환하여 통계프로그램으로 읽어들이고, 이 프로그램의 단변량 분석을 통해 산사태와 지형, 토양, 임상, 지질, 토지이용에 관련된 각 요인들과의 관계를 분석하였다. 그리고 연구지역의 산사태 발생에 가장 중요한 요인인 강우는 연구지역이 협소하고 또한 이에 따른 강우량 측정 자료 부족으로 연구지역 내에서 강우량의 공간적 분류가 불가능하여 본 연구에서는 고려하지 못했다.

산사태 발생 요인

산사태 발생에 영향을 끼치는 요인은 Fig. 1과 같이

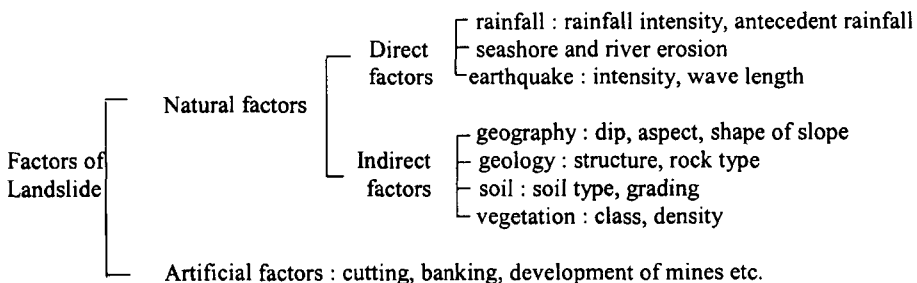


Fig. 1. Factors of Landslide (Bromhead, 1992).

강우, 침식, 지진, 지형, 지질, 토양, 식생 같은 자연환경적 요인과 절토, 성토 등과 같은 인위적 요인으로 분류될 수 있다.

자연적 요인에는 직접 요인과 간접요인이 있다. 직접적인 자연 산사태의 유발요인으로서 강우에 의한 사면하중의 증가, 하천에 의한 사면하부의 침식, 파도에 의한 해안 침식, 지진에 의한 진동, 균열의 발생 등이 있다 (Brand, 1988). 산사태 발생요인 중 가장 중요한 것의 하나는 강우이다. 강우는 사면토괴의 단위체적당 중량을 증가시키고 붕괴면에서의 저항력을 감소시킴으로써, 특히 집중 호우시 산사태를 많이 일으킨다 (홍원표, 1990). 이와 같은 현상은 지하수위의 상승에 의해서도 발생한다. 하천 혹은 해안의 침식작용에 의한 지형의 변화로 급한 사면이 형성되거나, 집중호우에 의한 계곡부 침식 등 사면하부의 침식은 사면의 불안정성을 가중시킨다. 지진의 경우 지진으로 인해 토양의 응집력이 줄어들어 산사태가 유발될 수 있다. 지진에 의해 발생하는 사면붕괴의 대표적 형태로는 자연, 인공사면 모두를 포함하는 급경사지 붕괴, 표토층 붕괴, 낙석 등으로 지진의 상이한 진폭에 의해 토층이나 암반내의 일시적인 강도의 변화를 유발시켜 사태를 초래한다.

본 연구에서 고려된 간접요인은 그 자체로서 산사태를 유발하는 것이 아니라 다른 요인과 결합하여 사면의 불안정을 야기한다는 점에서 직접요인과는 다르다. 이에 지형, 지질, 토질, 임상과 같은 요인이 있다. 지형 요인 중 사면 경사는 사면상에서 물질의 추진력에 크게 영향을 끼친다. 그러므로 다른 모든 상황이 같으면 산사태는 급한 사면에서 더 잘 일어날 것이다. 또한 지형은 지표수 및 지하수의 집중, 분산, 이동 등에 크게 영향을 주기 때문에 유수의 집·배수 능력과 산사태 발생에 깊은 관계가 있다. 또한 사면 방위는 암반사면에서의 지질구조 (절리, 엽리, 편리 등)의 주향 및 경사와의 관계에서 산사태 발생여

부와 산사태 유형을 결정하는데 중요한 요인이다. 암질은 일반적으로 강도가 약하거나 함수율이 클수록 산사태가 일어나기 쉽다. 지질 구조선에 따른 파쇄대, 단층들도 산사태에 큰 영향을 준다. 특히 단층은 지하수의 공급원이 되기 쉽고 단층면이 붕괴면이 되는 경우가 많다. 또한 사면과 층리의 경사관계도 산사태에 영향을 끼친다. 토질의 경우도 일반적으로 강도가 약하거나 함수율이 클수록 산사태가 일어나기 쉽다. 식생은 사면위에 떨어지는 비의 충격을 완화시키는 커버 역할을 하여 표면위의 침식을 막으며, 비를 흡수하고, 그 뿌리는 토양의 전단강도를 증가시켜 사면의 안정성을 높여준다. 또한 지하수를 흡수함으로써 사면표면이 건조하게 되어 결국 안정성이 커지게 된다. 따라서 사면의 식생의 유무 또는 그 밀도는 사면의 안정에 영향을 미치게 된다.

수로의 변경, 광산개발, 주택지와 산업지 조성을 위한 평탄화 작업, 고속도로, 공항 및 철도건설시 절·성토 등 인간 활동에 의해 자연사면은 변형되고, 이는 토양이나 암석의 저항력을 저하시키고, 성토 하중을 증가시켜 토압을 증대시키는 등 사면내 응력을 변화시켜 사면을 불안정하게 하여 산사태를 발생시킬 수 있다. 절토사면의 경우 절토시 매우 단단한 암석이라도 장시간에 걸친 노출 및 기후변화에 의해 암석의 풍화가 빨리 진전되어 산사태 발생이 용이해진다 (신현준, 1995).

산사태 위치 파악

공간자료를 이용한 산사태 분석을 위해서는 정확한 산사태 발생 위치 파악이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 산사태 위치 파악을 위한 항공 사진 분석 후 현지 확인을 수행하였다. 항공사진 분석을 통한 산사태 위치 파악은 비교적 짧은 시간에 정확히 산사태 발생 위치를 파악할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 현재 우리 나라의 경우 지도제작을 목적으로 항공사진을 5년~10년 간격으로 촬영하기 때문에 산사태 발생 시기와 맞추는 것이 어렵고, 더욱이 산사태 발생 위치 확인을 위해 따로 항공촬영을 실시한다는 것은 비용이 너무 많이 소요된다. 그러나 산사태가 발생하면 보통 그 흔적은 10년이 넘게 남기 때문에 금방 복구되지 않은 산사태는 시기적으로 큰 문제는 되지 않는다. 전산화되고 기하보정된 항공사진을 1:5,000 수치지형도와 비교하여 산사태로 인해 변화된 지역을 파악하거나 산사태 이전 및 이후의 항공사진을 비교

하여 산사태 발생지역을 찾을 수 있다. 그러나 항공사진의 경우 획득이 어렵고, 기하보정이 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 1991년 여름에 용인 지역에 집중적으로 발생한 산사태를 항공사진으로 분석하기 위해 1995년 5월 및 9월에 촬영된 사진만을 이용했다. 항공사진 및 1:5,000 수치지도를 중첩하여 산사태로 보이는 지역을 유추하고 이를 현장 조사를 통해 확인해 보았다. 산사태 발생지역을 현지 답사하여 지도에 표시하는 방법이 가장 정확한 방법이나, 처음에 산사태 발생지역을 찾는 데 시간과 비용이 많이 들고, 또한 접근이 어려운 산악지역에서는 현지 답사가 어렵거나 불가능하다. 그래서 도로 주변 및 접근 가능한 지역만 조사하다보면 모든 산사태의 조사가 불가능하다. 이러한 문제는 확률 분석에 모든 자료 입력이 불가능하게 하여 정확한 결과를 기대하기 어렵다. 그리고 매핑에 있어서도 측량을 하지 않고 대략적으로 지도만으로 매핑하기 때문에 정확한 매핑이 어렵다. 이러한 단점을 극복하기 위해서는 GPS를 이용하거나 1:5,000 축척의 지도 같은 대축척의 지도를 사용하여 매핑을 하면 정확도를 높일 수 있다. 본 연구에서는 현지조사를 항공사진 분석 결과를 확인하는 작업을 위해 실시하였다. 이렇게 확인된 산사태 위치는 Fig. 2과 같다.

연구지역 데이터베이스 구축

본 연구를 위해 연구지역인 용인 지역의 산사태 분석에 필요한 관련 자료를 수집하였다. 수집된 자료의 형태는 지도, 보고서, CAD 자료, GIS 자료 등 다양하였다. 구체적인 자료들로서 산사태 위치 파악을 위한 항공사진 및 1:5,000 수치지형도와 산사태 발생 요인 분석을 위한 1:5,000 지형도, 1:25,000 정밀토양도, 1:25,000 임상도, 1:50,000 지질도, 기상자료 등이 있다. 이렇게 수집된 자료를 ARC/INFO 프로그램을 이용하여 공간 데이터베이스로 구축하였다. 본 연구에서 구축된 용인 지역의 데이터베이스 중 산사태 위치도 및 1:5,000 지형도는 Fig. 2와 같으며, 지형 데이터베이스에서 고도값을 갖는 자료층을 추출한 후 이를 DEM (Digital Elevation Model)으로 변환하여, 경사도, 경사방향도, 지형 곡률도, 고도 음영기복도 등을 계산하였는데 각각의 그림은 Fig. 3부터 Fig. 5와 같다. 지질 데이터베이스에서 추출한 임상도는 Fig. 6과 같으며, 토양도 데이터베이스에서 추출된 토질도, 지형도, 토양 배수도,

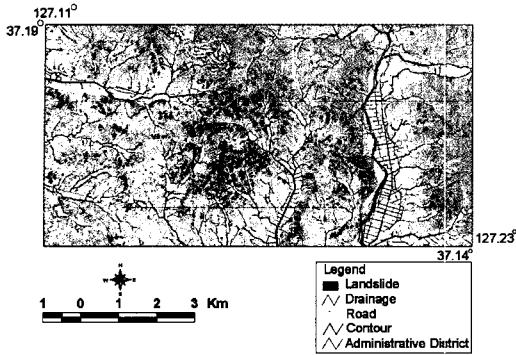


Fig. 2. Landslide location and topographic map.

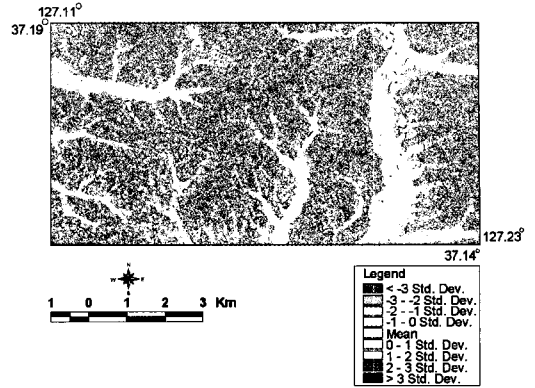


Fig. 5. Curvature map.

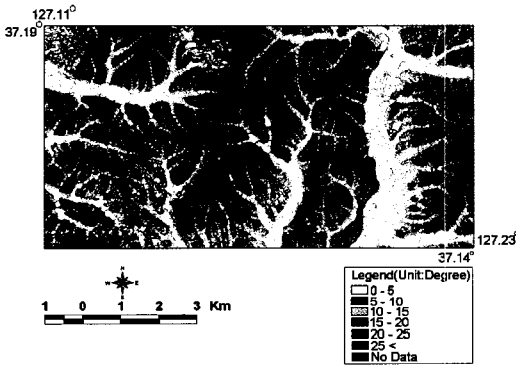


Fig. 3. Slope map.

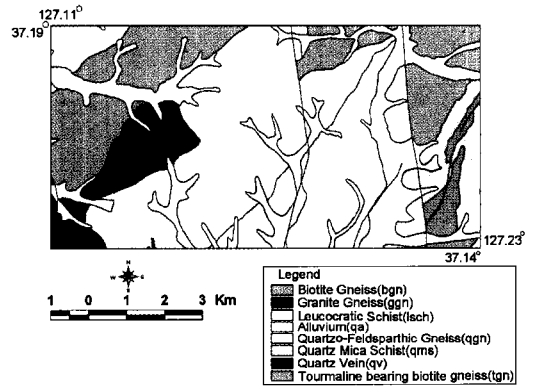


Fig. 6. Geological map.

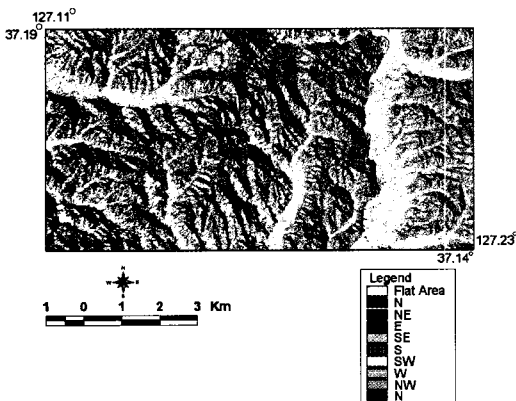


Fig. 4. Aspect map.

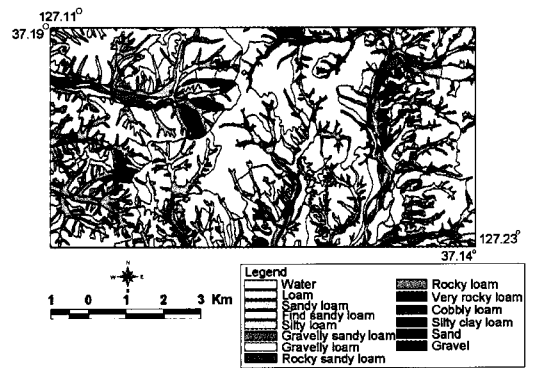


Fig. 7. Soil texture map.

토양 모재도, 유효토심도는 각각 Fig. 7에서 Fig. 11과 같다. 임상도 데이터베이스에서 추출된 임상도, 임상 경급도, 임상 영급도, 임상 밀도도는 Fig. 12에서 Fig 15와 같고, 토지이용 데이터베이스에서 추출한 토지이용도는 Fig. 16과 같다.

산사태 발생 위치와 공간 데이터베이스의 상관관계 분석

용인 지역을 대상으로 구축된 데이터베이스를 이용하여, 공간 상관관계 분석을 실시하였다. 본 연구에서

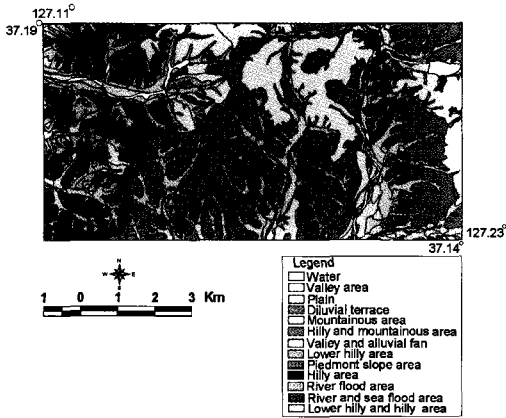


Fig. 8. Topographic map.

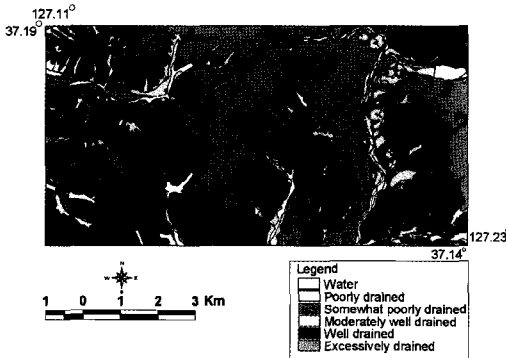


Fig. 9. Soil drainage map.

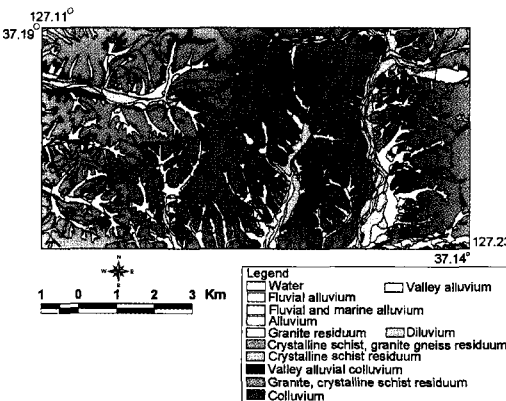


Fig. 10. Soil material map.

고려된 요인은 공간 데이터베이스로 구축된 지형도에서 경사, 경사방향, 곡률, 토양도에서 토질, 모재, 배수, 유효심도, 지형, 임상도에서 임상, 영급, 경급, 밀도, 지질도에서 암상 등이다. 본 연구에서 사용된 분석방법은 단변량 분석방법으로, 산사태에 기여하는 각 요인

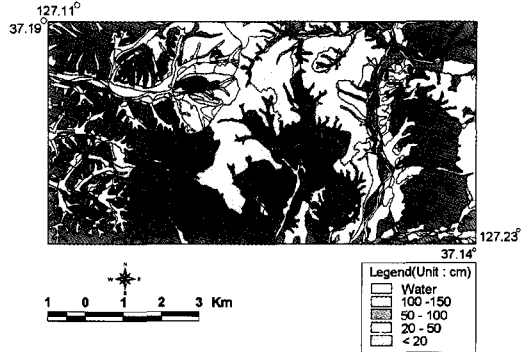


Fig. 11. Effective soil thickness map.

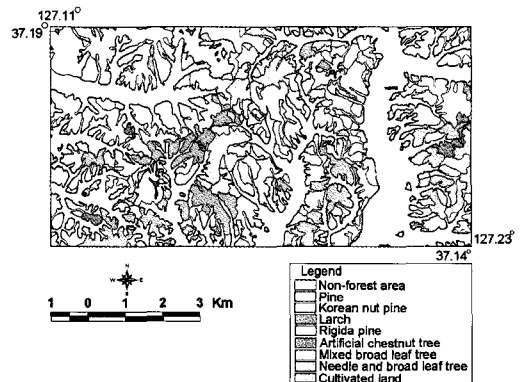


Fig. 12. Wood type map.

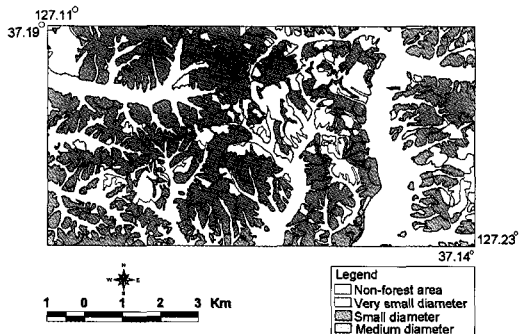


Fig. 13. Wood diameter map.

중 종류별 중요성 즉 등급값을 산사태 발생과 그에 기여하는 요인과의 상관관계 분석을 통해 확률값을 계산하였다. 즉 각 요인들의 종류 혹은 범위별로 연구지역 전체에서 차지하고 있는 면적 비율 및 산사태가 발생한 지역에서 차지하고 있는 면적 비율을 각각 계산하

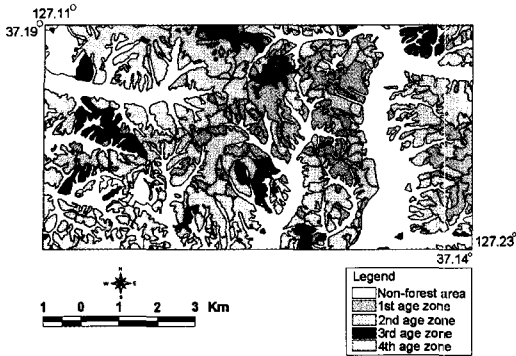


Fig. 14. Wood age map.

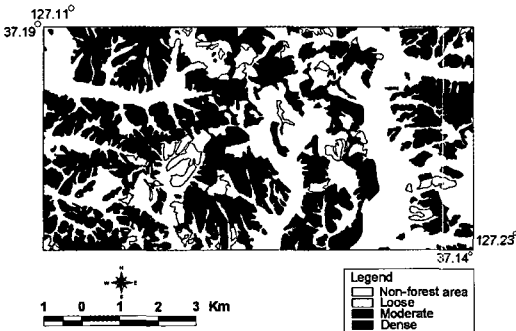


Fig. 15. Wood density map.

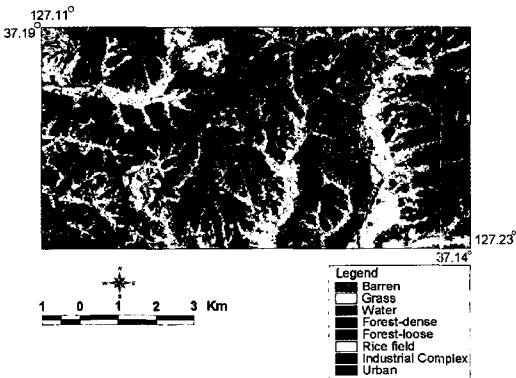


Fig. 16. Land use and cover map.

고, 후자에서 전자를 나눈 값으로 산사태 발생 확률을 계산하였다. 이러한 확률값이 1이면 평균을 의미하며 1보다 클수록 산사태 발생과 높은 상관관계를, 1보다 작을수록 산사태 발생과 낮은 상관관계를 나타낸다. 이렇게 계산된 확률값은 Table 1에서 Table 12와 같다.

이러한 확률분석을 위해서 먼저 연구지역의 공간 데이터베이스를 10 m×10 m 크기의 격자를 가지는 래스터 파일인 ARC/INFO GRID 형태로 변환하였다.

Table 1. Relationship between landslide and slope.

Range	Total		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^a	Count	Ratio (%) ^b	
0-5	200759	31%	367	3%	0.10
6-9	64919	10%	315	3%	0.27
10-13	66967	10%	963	8%	0.79
14-17	73902	11%	1769	15%	1.32
18-23	103236	16%	3216	27%	1.72
24-29	74608	12%	2826	24%	2.09
30-37	48785	8%	1899	16%	2.15
38-86	13879	2%	380	3%	1.51
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

그리고 이를 다시 ASCII 파일로 변환한 후, SPSS 통계 프로그램에서 교차분석 (Crosstabulation)법을 이용하여 각 요인의 종류 혹은 범위별로 산사태 발생 유무에 대한 면적 비율을 구하였다. 이렇게 구해진 각 요인의 종류 혹은 범위별 면적 비율을 산사태 발생 면적 비율을 전체 면적 비율로 나눈 값을 최종 확률값으로 하였다. 이러한 값은 Table 1에서 Table 12와 같다.

용인지역의 전체 격자 개수는 658,790개이며 이중 산사태 발생 격자 수는 11,735개이다. Table 2에서의 평지, Table 4에서 Table 5 및 Table 14의 강, 저수지 등 물이 있는 곳 등 상식적으로 산사태가 발생할 수 없는 곳에도 산사태가 발생되었다고 나타나는데, 이것은 지도 자체의 에러, 도면 입력 에러 및 처리 에러로 사료된다. 특히 벡터 자료를 래스터 자료로 격자화 하면서 생긴 에러로 사료된다. 각 요인의 등급별 산사태와의 관련성을 살펴보면 다음과 같다.

산사태와 지형과의 관계

경사각의 경우 (Table 1), 경사각이 클수록 산사태 발생확률이 높게 나타났다. 5도 미만에서는 0.1로 거의 산사태 발생 확률이 없는 것으로 나타났으며, 13도 까지도 1 미만으로 산사태 발생 확률이 없는 것으로 나타났다. 그러나 값이 커질수록 뚜렷하게 산사태 발생 확률 값이 증가하였으며, 24도 이상에서는 값이 2 이상으로 산사태 발생 확률이 매우 높게 나타났다. 이는 상식적으로도 사면 경사각이 높을수록 산사태 발생 확률이 높다는 것을 증명하는 것이고, 또한 산사태가 많이 발생할 수 있는 경사각이 대략 15도 이상인 것을 알 수 있다. 따라서 낮은 경사에서조차 집중 호우시 산사태가 발생할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

Table 2. Relationship between landslide and aspect.

Range	Total		Landslide occurred		a)/b)
	Count	Ratio (%) ^{a)}	Count	Ratio (%) ^{b)}	
Flat Area	53945	8%	126	1%	0.13
N	57724	9%	1451	12%	1.39
NE	58105	9%	1807	15%	1.71
E	64003	10%	1344	11%	1.16
SE	73074	11%	975	8%	0.74
S	83145	13%	1054	9%	0.70
SW	97721	15%	1798	15%	1.01
W	88091	14%	1718	15%	1.08
NW	71247	11%	1462	12%	1.13
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

산사태와 지형 즉 경사방향, 곡률, 경사각, 지형종류와의 관계를 살펴보면, 경사방향의 경우 (Table 2), 대체적으로 북쪽, 북동쪽이 발생 확률 값이 높았으며, 남쪽, 남동쪽이 발생 확률값이 낮게 나타났다. 산사태 발생은 일반적으로 사면 방위로 인한 일조시간 차이에 의한 토층내의 지하수의 위치, 기반암의 풍화정도, 식생의 생육차이로 인해 사면 방위가 남향인 것의 붕괴가 북향의 것보다 많다는 연구결과 (토질안전재료위원회편, 1990)가 있는데 본 지역과는 반대로 나와 산사태의 사면 방위에 대한 관계 연구가 더 필요하다고 사료된다.

곡률의 경우 (Table 3), 0값을 기준으로 음의 값으로 갈수록 경사면의 형태가 오목한 것을 나타내며, 양의 값으로 갈수록 경사면의 형태가 볼록한 것을 나타

Table 3. Relationship between landslide and curvature.

Range	Total		Landslide occurred		b)/a)
	Count	Ratio (%) ^{a)}	Count	Ratio (%) ^{b)}	
-9-314	4551	1%	172	1%	2.08
-8	2479	0%	145	1%	3.00
-7	4222	1%	181	2%	2.14
-6	7208	1%	325	3%	2.55
-5	12029	2%	496	4%	2.21
-4	20510	3%	738	6%	1.97
-3	35514	6%	1094	9%	1.69
-2	68999	11%	1455	12%	1.16
-1	87818	14%	1581	14%	0.99
0	162334	25%	1624	14%	0.55
1	85504	13%	1324	11%	0.86
2	64956	10%	1023	9%	0.87
3	34925	5%	657	6%	1.04
4	22237	3%	405	4%	1.03
5	13909	2%	221	2%	0.90
6	8373	1%	121	1%	0.77
7-166	11487	2%	173	1%	0.83
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

낸다. 0은 경사면의 형태가 평탄한 것을 나타낸다. 본 연구 결과 대체로 양과 음으로 값이 커질수록 산사태 발생 확률이 높게 나타났으며, 경사면이 평탄면 즉 0에서는 0.55로 매우 낮은 값을 나타냈다. 특히 음의 값에서 절대값이 커질수록 산사태 발생 확률이 뚜렷하게 증가하였다. 이러한 결과로 보았을 때 곡률이 산사태 발생확률과 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다. 이러한 이유는 집중 호우시 경사면이 오목할수록 물을

Table 4. Relationship between landslide and topography.

Range	Total		Landslide occurred		b)/a)
	Count	Ratio (%) ^{a)}	Count	Ratio (%) ^{b)}	
Water	9393	2%	8	0%	0.07
Valley area	127235	20%	472	4%	0.20
Plain	39606	6%	37	0%	0.05
Diluvial terraces	4409	1%	0	0%	0.00
Mountainous area	110424	17%	2659	23%	1.33
Hilly and mountainous area	180552	28%	6223	53%	1.90
Valley and alluvial fan	34645	5%	267	2%	0.43
Lower hilly area	2818	0%	102	1%	2.25
Piedmont slope area	14804	2%	63	1%	0.22
Hilly area	98547	15%	1786	15%	1.00
River flood area	7889	1%	1	0%	0.00
River and sea flood area	3532	1%	0	0%	0.00
Lower hilly and hilly area	13201	2%	117	1%	0.50
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

더 많이 그리고 오랫동안 가지고 있기 때문에 산사태가 더 많이 발생한 것으로 사료된다. 그리고 평탄면 0에서 값이 낮은 이유는 평지가 여기에 포함되기 때문에 값이 낮아진 것이고, 불룩한 경사면에서는 값이 대체적으로 1보다 조금씩 작게 나타나서 불룩한 지형이 산사태 발생과 밀접한 관계는 없다고 사료된다. 즉 경사면이 불룩한 것이 산사태를 발생시키지 않는다고 판단할 수는 없다.

지형종류의 경우 (Table 4), 평탄지 및 범람지 등에서 낮게 나타났으며, 산악지, 구릉지 등에서 높게 나타났다. 이는 지형 종류가 경사각과 밀접한 관련이 있으므로 경사각에 따라 이러한 결과가 나타났다고 볼 수 있다.

산사태와 토양과의 관계

토질의 경우 (Table 5), 자갈이 많은 양토, 바위가 많은 사양토 및 바위가 많은 양토 등에서 산사태 발생

확률이 높게 나타났으며, 양토 및 사양토 등이 산사태 발생 확률이 낮게 나타났다. 이는 토양 입자 크기와 관련된 것으로 사료되며 집중 호우시 자갈이 많은 양토, 바위가 많은 사양토 및 바위가 많은 양토의 경우 양토 및 사양토 보다 토양 입자사이에 공극이 많아 물을 많이 보유하거나 흐르게 할 수 있어 산사태 발생 확률이 높은 것으로 사료된다.

산사태와 토양 관련 요인 즉 토양 배수, 토양 모재, 토질, 유효 토심과의 관계를 살펴보면, 토양배수의 경우 (Table 6), 배수가 잘 될수록 산사태 발생 확률이 뚜렷이 높게 나타났다. 이는 집중 호우시 배수가 잘 될수록 물의 흐름을 조절하여 토양이 물을 많이 포함하는 것으로 사료되며, 결국 이로 인해 산사태 발생 확률이 높아진다는 것으로 사료된다.

토양 모재의 경우 (Table 7), 편마암 및 편암 잔적층에서 산사태 발생 확률이 높게 나타났으며, 곡간 및 하성 충적층, 봉적층 등이 산사태 발생 확률이 낮게

Table 5. Relationship between landslide and soil texture.

Range	Total		Landslide occurred		(b)/(a)
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Water	9393	2%	8	0%	0.07
Loam	104512	16%	411	4%	0.22
Sandy loam	88429	14%	385	3%	0.24
Fine sandy loam	11999	2%	3	0%	0.00
Silt loam	68	0%	0	0%	0.00
Gravelly sandy loam	32492	5%	207	2%	0.36
Gravelly loam	376209	58%	10043	86%	1.47
Rocky sandy loam	4560	1%	217	2%	2.57
Rocky loam	780	0%	49	0%	4.00
Very rocky loam	5797	1%	411	4%	3.89
Cobbly loam	520	0%	0	0%	0.00
Silty clay loam	4403	1%	0	0%	0.00
Sand	146	0%	0	0%	0.00
Gravel	7747	1%	1	0%	0.00
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

Table 6. Relationship between landslide and soil drainage.

Range	Total		Landslide occurred		(b)/(a)
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Water	17143	3%	9	0%	0.04
Poorly drained	5811	1%	4	0%	0.00
Somewhat poorly drained	88327	14%	245	2%	0.15
Moderately well drained	57260	9%	159	1%	0.16
Well drained	282666	44%	5219	45%	1.02
Excessively drained	195848	30%	6099	52%	1.72
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

Table 7. Relationship between landslide and soil material.

Type	Total		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Water	17139	3%	9	0%	0.04
Valley alluvium	129776	20%	472	4%	0.20
Fluvial alluvium	43214	7%	37	0%	0.04
Fluvial and marine alluvium	69	0%	0	0%	0.00
Alluvium	4076	1%	0	0%	0.00
Diluvium	4409	1%	0	0%	0.00
Granite residuum	1770	0%	0	0%	0.00
Ganite gneiss residuum	276736	43%	7953	68%	1.58
Crystalline schist residuum	124231	19%	2832	24%	1.26
Valley alluvial colluvium	15697	2%	159	1%	0.58
Granite, crystalline schist residuum	2818	0%	102	1%	2.25
Colluvium	27120	4%	171	2%	0.36
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

Table 8. Relationship between landslide and soil effective thickness.

Range	Total		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Water	17135	3%	9	0%	0.04
100-150 cm	69625	11%	419	4%	0.33
50-100 cm	337854	52%	5117	44%	0.84
20-50cm	210528	33%	6190	53%	1.62
20cm <	11912	2%	0	0	0.00
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

나타났다. 이는 지형 및 지질과 관련된다고 사료되며, 붕괴층의 경우는 일단 붕괴로 형성된 지역은 경사가 낮아져 다시 붕괴할 확률이 적다고 사료된다.

유효 토심의 경우 (Table 8), 실제 토양 두께와 다르나 실제 토양 두께를 구할 수 있는 자료가 없어 유효

토심을 토양 두께와 비례하다고 판단하고 이용하였다. 분석 결과 유효 토심이 얇을수록 산사태 발생 확률이 뚜렷이 높게 나타났다. 이는 집중 호우시 토양층이 얇으면 금방 물이 포화되어 물을 배출하기 전에 붕괴 가능성이 높아지고 반대로 토양층이 두꺼우면 물을 많이 보유할 수 있고 또 계속 물을 배출하므로 그만큼 붕괴 가능성이 적어 이러한 결과를 보여준다고 사료된다.

산사태와 임상과의 관계

산사태와 임상 관련 요인 즉 임상, 영급, 경급, 밀도와와의 관계를 살펴보면, 임상의 경우 (Table 9), 잣나무림, 리기다소나무림, 활엽수혼효림 및 침엽혼림 등에서 높게 나타났으며, 비산림지에서 낮게 나타났다. 이는 산사태가 주로 산에서 발생하여 비산림지역의 자료가 함께 통계 처리되어 이러한 결과가 나왔다고 할 수 있

Table 9. Relationship between landslide and wood type.

Range	Total		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Non-forest	237282	37%	588	5%	0.14
Pine	621	0%	0	0%	0.00
Coulter's pine	43081	7%	2059	18%	2.61
Larch	5789	1%	43	0%	0.44
Rigida pine	181781	28%	5412	46%	1.64
Artificial chestnut tree	680	0%	55	1%	5.00
Mixed broad leaf tree	65191	10%	1566	13%	1.32
Needle and broad leaf tree	83972	13%	2003	17%	1.32
Field	833	0%	0	0%	0.00
Cultivated land	27825	4%	9	0%	0.02
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

Table 10. Relationship between landslide and wood diameter.

Range	Total		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Non-forest	254504	39%	587	5%	0.13
Very small diameter	80506	12%	3116	27%	2.15
Small diameter	311800	48%	8032	68%	1.42
Medium diameter	245	0%	0	0%	0.00
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

Table 11. Relationship between landslide and wood age.

Range	Total		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Non-forest	254505	39%	587	5%	0.13
1st age	80506	12%	3116	27%	2.15
2nd age	267379	41%	7122	61%	1.47
3rd age	44420	7%	910	8%	1.13
4th age	245	0%	0	0%	0.00
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

Table 12. Relationship between landslide and wood density.

Range	Total		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Non-forest	333477	52%	3555	30%	0.59
Loose	42873	7%	946	8%	1.23
Moderate	156090	24%	4236	36%	1.50
Dense	114615	18%	2998	26%	1.44
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

다. 경급의 경우 (Table 10), 연구지역은 치수 및 소경목 지역으로, 치수는 흉고직경 6 cm 미만의 나무의 점유 비율이 50% 이하이고, 소경목은 흉고 직경이 6~16 cm 미만의 나무의 점유 비율이 50% 이하인 경우로 치수가 소경목 보다 산사태 발생 확률이 높게 나타났다. 이는 나무의 흉고가 클수록 나무도 크고 또한 뿌리도 많이 발달되어 있으므로 집중 호우시 물의 흡수 능력 및 흙의 지지력이 크므로 흉고가 적을수록 산사태 발생 확률이 큰 것으로 사료된다. 영급의 경우 (Table 11), 연구지역은 1에서 3영급 지역으로, 1영급은 1~10년생 나무의 점유 비율이 50% 이상, 2영급은 11~20년생 나무의 점유 비율이 50% 이상, 3영급은 21~30년생 나무의 점유 비율이 50% 이상인 경우로 영급이 적을수록, 즉 나무의 나이가 적을수록 산사태 발생 확률이 높게 나타났다. 이는 나무의 나이로 인한 뿌리의 발달정도가 차이가 나 집중 호우시 물의 흡수 능력 및 흙의 지지력의 차이가 나, 나무의 나이가 적을수록 산사태가 발생 확률이 큰 것으로 해석된다. 밀도의 경우 (Table 12), 대체적으로 비슷한 값을 보여주나, 밀도가 작은 지역보다 높은 지역이 산사태 발생 확률이 높게 나타났다. 이는 기존의 기준에 반대되는 결과로 나타나나, 그 값의 차이가 별로 나지 않고, 우리나라 수종은 산사태 방지 효과가 적은 수종이어서 밀도가 높아도 방지율이 높은 것이 아니기 때문에 좀

더 많은 자료의 분석이 요구된다.

산사태와 암상과의 관계

산사태와 암상과의 관계 (Table 13)를 살펴보면, 화강 편마암 및 우백질 편마암 지역에서 산사태 발생 확률이 높게 나타났으며, 석영 운모 편암 및 흑운모 편마암 지역에서 낮게 나타났다. 연구 지역이 협소한 관계로 1:50,000 축척의 지질도를 사용한 결과 암상의 종류가 다양하지 않아 암상과의 관계도 좀 더 많은 자료의 분석이 요구된다.

산사태와 토지이용과의 관계

산사태와 토지이용과의 관계 (Table 14)를 살펴보면, 산림에서 높게 나타나고, 기타 내대지, 초지, 논, 도시 등의 지역에서 낮게 나타났다. 이는 산사태가 주로 산에서 발생하고 또한 산 지역이 경사도가 높기 때문에 이러한 결과가 나왔다고 할 수 있다.

결론 및 토의

본 연구에서는 연구지역인 용인 지역에 대해서 항공 사진 및 현지조사를 통해 산사태 위치를 파악하고, 1:5,000 지형도, 1:25,000 정밀도양도, 1:25,000 임상도,

Table 13. Relationship between landslide and lithology.

Range	Total		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
Qa (Alluvium)	120434	19%	219	2%	0.10
bgn (Biotite Gneiss)	132813	21%	1713	15%	0.71
ggn (Granite Gneiss)	195772	30%	5770	49%	1.62
tgn (Tourmaline Bearing biotite greiss)	17789	3%	267	2%	0.85
lsch (Leucocratic Schist)	92902	14%	2452	21%	1.45
Qms (Quartz Mica Schist)	38607	6%	414	4%	0.58
ggn (Granite Gneiss)	48559	8%	900	8%	1.03
Qv (Quartz Vein)	179	0%	0	0%	0.00
Total	647055	100%	11735	100%	1.00

Table 14. Relationship between landslide and land use.

Range	Landslide not occurred		Landslide occurred		b/a
	Count	Ratio (%) ^(a)	Count	Ratio (%) ^(b)	
No data	9	0%	0	0%	0.00
Barren	16333	2%	125	1%	0.42
Grass	36809	6%	244	2%	0.37
Water	5226	1%	12	0%	0.12
Forest (dense)	223172	34%	6352	54%	1.57
Forest (loose)	228766	35%	4618	39%	1.11
Rice field	108035	17%	280	3%	0.14
Industrial Complex	23903	4%	94	1%	0.22
Urban	4802	1%	10	0%	0.11
Total	647055	100.0%	11735	100.0%	1.00

1:50,000 지질도 등을 GIS를 이용하여 데이터베이스로 구축하였다. 여기서 산사태 발생 요인인 경사, 경사방향, 곡률 등은 지형도에서, 토질, 모재, 배수, 유효토심, 지형 등은 토양도에서, 임상, 경급, 영급, 밀도 등은 임상도에서, 암상은 지질도, 토지이용은 Landsat TM 영상을 분류하여 추출하였다. 이렇게 구축된 데이터베이스를 이용하여 단변량 확률 분석을 실시하여 산사태 발생 특성을 분석하였다. 분석 결과, 산사태 관련 요인인 지형 경사, 지형 곡률, 지형, 토질, 토양 배수, 토양 모재, 유효 토심, 임상 경급, 임상 영급, 토지이용 등에서 산사태와 일정한 관계를 보여주었지만 지형 방위, 임상, 임상 밀도, 암상 등에서는 뚜렷한 관계를 찾지 못했다.

연구지역의 산사태 발생에 가장 중요한 요인인 강우는 연구지역이 협소하고 또한 이에 따른 강우량 측정 자료 부족으로 연구지역 내에서 강우량의 공간적 분류가 불가능하여 본 연구에서는 고려하지 못하였지만 집수면적 혹은 수계망 분석 및 광역적인 분석을 통해 산사태 발생의 가장 중요한 직접 요인인 강우 요인에 대

한 체계적인 분석도 이루어져야 할 것이다. 또한 지형 방위, 임상, 임상 밀도, 암상 등에서는 뚜렷한 관계를 찾지 못하였으므로 여기에 대한 좀 더 많은 구체적인 연구가 필요하며 뚜렷한 관계를 갖는 다른 요인들이 좀 더 많은 구체적인 연구가 필요하다. 이를 위해서는 전국에 걸쳐 보다 넓은 지역에 대해 보다 많은 산사태 발생 자료 및 산사태 관련 요인의 적용이 필요하다. 분석 방법의 적용에 있어 산사태 위치의 정확한 판독 및 자료 처리상의 에러 등을 최소화하여 좀 더 정확한 분석이 이루어져야 할 것이다. 이러한 문제점 해결을 통해 우리나라 현실에 맞는 산사태 분석 기법을 개발 및 적용을 하고 이를 재해관련 업무에 적극 활용해야 할 것이다. 그렇게 함으로써 계속적으로 발생하고 있는 산사태에 대한 관리 및 분석을 과학적이고 효율적으로 할 수 있으며, 산사태 자료의 지속적인 수집 및 데이터베이스 구축, 관리 및 분석을 통해 산사태 예측 및 예방에 기여할 수 있을 것이다. 또한 이러한 분석 결과는 산사태 피해 예방을 위해 방재 사업, 국토개발 계획, 건설계획 등에 기초자료로 이용될 수 있다. 본 연구에 사용된 지형, 토양, 임상, 지질 등 산사태 관련 데이터베이스는 이미 전국을 대상으로 대부분 구축되어 있는 상태이므로 (이사로, 1998) 이를 잘 활용하면 적은 비용과 빠른 시간에 전국적으로 산사태 분석을 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김상규 (1990) 사면안정 (VIII) 강좌, 대한토질공학회지, v. 4, p. 90-101.
 농촌진흥청 농업기술연구소 (1973) 정밀토양 해설도 수인시 및 화성군편, 농촌진흥청 농업기술연구소, 103p.
 농촌진흥청 농업기술연구소 (1990) 정밀토양 해설도 용인군편, 농촌진흥청 농업기술연구소, 46p.

- 박용원, 김광래, 여운광 (1993) 1991년 용인-안성 지역 산사태 연구, 한국지반공학회지, v. 9, p. 103-116.
- 신현준 (1995) 원격탐사와 GIS를 이용한 충주지역의 사면 안정 평가, 연세대학교 석사학위 논문, 48p.
- 오인섭, 윤윤영 (1972) 한국지질도 수원도폭, 국립지질조사소, 21p.
- 오인섭, 박석환 (1973) 한국지질도 오산도폭, 국립지질광물연구소, 21p.
- 이사로 (2000) 지리정보시스템 (GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 연세대학교 박사학위 논문, 163p.
- 이사로 (1998) GIS를 이용한 지질재해 및 위험 데이터베

- 이스 구축, 제8회 GIS WORKSHOP, p. 337-346.
- 토질안정재료위원회 (1990) 사면 안정 공법, 창우출판, 321p.
- 홍원표 (1988) 사면안정 (I) 강좌, 대한토질공학회지, v. 6, p. 88-90.
- Brand, E.W. (1988) Landslide risk assessment in Hong Kong, Proceedings of the fifth international symposium on landslide, v. 2, p. 1059-1074.
- Bromhead, E.N. (1992) The stability of slopes, Blackie Academic & Professional, 411p.

2000년 6월 2일 원고접수, 2000년 8월 3일 게재승인.