

산사태 취약성 평가를 위한 GIS와 AHP법의 적용

The Application of GIS and AHP for Landslide Vulnerable Estimation

양인태* 천기선** 이상윤***
Yang, In-Tae Chun, Ki-Sun Lee, Sang-Yoon

Abstract

The goal of this study is to generate a landslide potential map using GIS(Geographic Information System) based method. A simple and efficient algorithm is proposed to generate a landslide potentialities map from DEM(Digital Elevation Model) and existing maps. The categories of controlling factors for landslides, aspect of slope, soil, vegetation are defined. The weight value for landslide potentialities is calculated from AHP(Analytic Hierarchy Process) method. Slope and Slope-direction is extracted from DEM, and soil information is extracted from digital soil map. Also, vegetation information is extracted from digital vegetation map. Finally, as overlaying, landslide potentialities map is made out, and it is compared with landslide place.

키워드 : 지리정보체계, 수치표고모형, 계층적분석과정, 산사태
Keywords : GIS, DEM, AHP, Landslide

1. 서론

우리나라는 매년 장마와 태풍에 의한 집중호우로 산사태가 발생하여 많은 인명 및 재산피해가 되풀이되고 있다. 특히 강원도지역은 산지가 많고 경사가 급해 산사태에 취약한 지리적 특성을 가지고 있다. 따라서 산사태를 방지하고 그 피해를 최소화하기 위해서는 산사태 발생에 대한 보다 과학적이고 합리적인 연구가 필요하다.

이 연구에서는 공간분석에 탁월한 기능을 발휘하는 GIS를 이용하여 강원도 일부지역을 대상으로 산사태 취약성을 평가하고자 하였다. 이를 위해서 산사태를 유발하는 각 인자들을 분류하고, AHP에 의해 각 인자들에 대한 경중률을 계산한 다음 GIS DB를 구축하여 산사태 취약성을 평가하였다.

2. 연구지역의 DB 구축

2.1 연구대상지역

산사태 발생잠재가능성 평가를 위한 연구대상지역으로서 그림 1과 같이 강원도 남부지역을 포함하는 광범위한 지역을 선정하였다. 이 지역은 행정구역상 원주, 영월, 태백, 삼척, 동해, 평창, 횡성, 홍천 등에 걸쳐 분포하고 있다. 특히 강원남부 지역 중에서 삼척, 동해 등이 위치하고 있는 영동 지역은 해마다 장마와 태풍 등으로 인한 집중호우에 의해 산사태가 빈번히 발생하는 곳으로 알려져 있다. 이 연구를 수행하기 위해서 우선 산사태를 유발하는 인자들에 대한 데이터베이스를 구축해야 한다.

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 토목공학과 연구원, 공학박사

***강원대학교 토목공학과 대학원, 박사과정

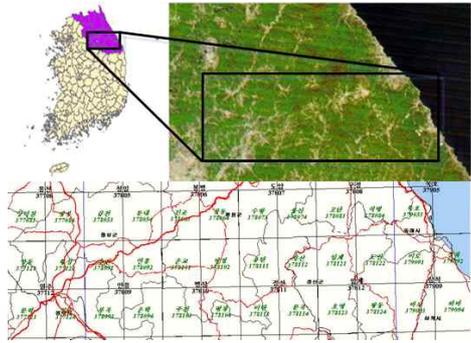


그림 1 연구대상지역

이 연구에서 사용한 산사태 유발인자들로서는 경사, 경사방향, 경사모양, 단층, 토양모양, 토양의 배수상태, 토양의 표토두께, 임상, 임상경급, 임상밀도 등 총 10개의 항목을 선정하여 산사태 발생잠재가능성을 연구하였는데, 이러한 산사태 유발인자에 대한 정보를 추출하기 위해서 경사, 경사방향, 경사모양 등의 지형정보는 DEM(Digital Elevation Model)으로부터 추출하였으며, 단층정보는 지질도를 이용하였다. 또한 토양의 모양이나 배수상태, 표토의 깊이 등에 대한 정보는 토양도로부터 추출하였고, 식생의 종류나 경급, 밀도 등의 정보는 임상도로부터 추출하여 사용하였다.

2.2 DEM으로부터의 지형인자 DB구축

본 연구에서는 경사분포를 0~90°까지 Degree로 계산하고 21~40°의 경사범위를 분류코드 1, 11~20°의 범위는 분류코드 2, 기타를 분류코드 3으로 처리하였다.

그림 2는 DEM으로 추출한 경사도를 재분류하여 구축한 경사인자 자료로서, 분류코드 1, 2, 3이 입력된 것을 확인 할 수 있다.

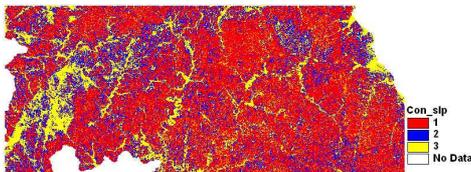


그림 2 경사인자 자료층

경사방향인자의 자료층을 구축하기 위해서 DEM으로부터 경사방향 성분을 계산하였다. 경사

방향을 8방향과 평지인 경우를 고려하여 남향과 남동방향을 분류코드 1, 북향과 동향을 분류코드 2, 북서방향과 서향을 분류코드 3 등으로 재분류하였다. 그림 3은 DEM으로 추출한 경사방향도를 재분류하여 구축한 경사방향인자 자료이다.

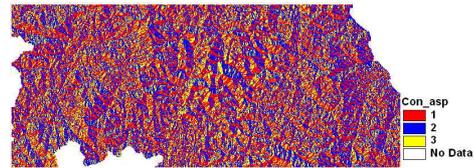


그림 3 경사방향인자 자료층

경사모양은 일반적으로 평형사면, 오목한 사면, 볼록한 사면 등 3가지로 구분할 수 있으며, DEM에서 해당지점의 격자(고도값)에서 인접하는 격자(고도값)를 비교함으로써 해당지점의 격자가 어떤 사면에 해당하는지를 추출할 수 있다.

경사모양을 하강사면, 상승사면, 평형사면 등 3가지로 구분하였으며, 오목한 사면일 때는 분류코드 1, 볼록한 사면은 분류코드 2, 평행한 사면에서는 분류코드 3 등으로 처리하였다. 그림 4는 DEM으로 추출한 경사모양 정보를 재분류하여 구축한 경사모양인자 자료이다.

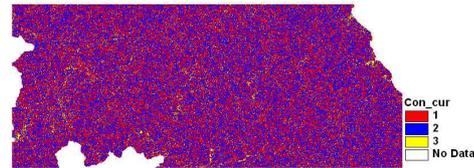


그림 4 경사모양인자 자료층

2.3 지질도로부터의 지형인자 DB구축

산사태는 지질구조와도 깊은 관련을 가지고 있으며, 특히 파쇄대, 단층, 습곡, 간사구조 및 암벽의 관입 등은 산사태에 큰 영향을 끼치는 것으로 조사되고 있다. 이 연구에서는 지질도로부터 산사태를 유발하는 인자로서 단층정보를 추출하여 GIS 자료층(layer)을 구축하였다. 단층은 그 특성상 선형정보라 할 수 있다. 따라서 단층의 영향권을 고려하기 위해 단층에 대해서 50m로 버퍼링을 수행하였다. 버퍼링 내부의 단층부분은 기호 100으로 처리하고 분류코드 1로 처리하였으며, 버퍼링 외부는 기호 0으로서 분류코드 2, 그 외에 버퍼링의 영향으로 형성된 폐합부분은 기호 1로서 분류코드 2

로 각각 처리하였다. 그림 5는 지질도로부터 추출한 단층정보를 베퍼링하여 나타낸 것이다.



그림 5 단층인자 자료층

2.4 토양도로부터의 토양인자 DB구축

그림 6은 토양도로부터 모암정보를 추출하여 구축한 자료층이다. 이 연구지역의 모암은 변성암, 제3기층, 제4기층, 퇴적암, 화성암, 화산회 등으로 구성되어 있다.

변성암, 제3기층, 제4기층 등을 분류코드 1, 퇴적암을 분류코드 2, 화산회 및 화성암을 분류코드 3 등으로 분류하여 코드를 부여하였다.



그림 6 토양모암인자 자료층

이 연구에서는 토양도의 유효토심을 표토의 토심 50cm이하인 지역은 분류코드 1, 50~100cm인 지역은 분류코드 2, 100cm 이상인 지역은 3 등으로 재분류하여 코드화하였다. 그림 7은 토양도로부터 추출한 표토의 두께인 토심정보를 나타낸 자료층이다.

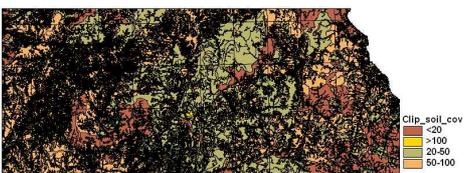


그림 7 토심인자 자료층

토양의 배수상태는 자연상태에서의 토양에 강우가 발생하였을 때 토양이 포화되는 속도를 결정하는 중요한 요소로 볼 수 있다. 토양이 포화상태에 이르게 되면 유출이 발생하게 되고 수분에 의해

토양의 증량이 가벼짐에 따라 토립자간의 내부마찰력이 감소하여 산사태가 발생하는 것으로 연구되고 있다.

토양도의 배수상태를 고려하여 매우양호는 분류코드 1, 양호는 분류코드 2, 불량은 분류코드 3 등 3가지로 재분류하여 코드화하였다. 그림 8은 토양도에서 추출한 토양의 배수상태 정보에 대한 자료층이다.



그림 8 배수상태인자 자료층

2.5 임상도로부터의 임상인자 DB구축

산사태는 지질이나 토양 등 지반의 조건에 영향을 받을 뿐 아니라 지형에 의해서도 영향을 받는 것으로 보고되고 있다. 그러나 지표의 조건이 어떠한가에 따라 산사태 발생을 최소화할 수 있다. 즉, 산사태는 강우조건에 직접적인 영향을 받기 때문에 지표의 조건에 따라 강우의 영향을 조절할 수 있는데, 여기서 지표의 조건이란 지표를 피복하고 있는 상태를 말하는 것으로서 지표가 나무와 같은 식생상태로 유지되고 있다면 산사태 발생을 상당량 감소시킬 수 있다.

임상도의 임상정보를 3가지로 재분류하였다. 우선 미립목지를 분류코드 1로 구분하였으며, 침엽수림과 활엽수림을 분류코드 2, 혼효림 및 기타 산림지역을 분류코드 3 등으로 구분하여 적용하였다.

그림 9는 지표를 피복하고 있는 임상 정보를 나타낸 것으로서 임상도로부터 추출하여 데이터베이스를 구축한 것이다.



그림 9 임상인자 자료층

임상 등급정보는 치수를 1, 소경목을 2, 중경목과 대경목을 3 등으로 3가지의 분류코드로 재분류

하여 사용하였다.

그림 10은 임상도에서 추출한 임상경급 자료층을 설명한 것이다. 임상의 경급은 인간의 가슴높이에 해당하는 위치에서 수목의 직경을 측정하였을 때 수목이 차지하는 비율로 정의되는 데, 그림 17에서 0의 값은 자료가 임상자료가 없는 곳을 의미하며, 1은 치수 2는 소경목, 3은 중경목, 4는 대경목을 나타낸 것이다.



그림 10 임상 경급

임상도는 밀도정보를 기준으로 소밀도를 1, 중밀도를 2, 고밀도를 3 등 3가지로 구분하여 코드화하였다.

그림 11은 임상도에서 추출한 임상 밀도정보의 자료층을 나타낸 것이다. 임상 밀도는 단위 면적당 차지하는 교목의 정도를 나타내는 것으로 소밀도(A), 중밀도(B), 고밀도(C) 등 3가지로 구분되어 있다.



그림 11 임상 밀도

3. 산사태 발생지에서의 유발인자 분석

산사태 발생지에서의 유발인자들의 특성을 분석하기 위해서는 우선 정확한 산사태 위치자료가 필요하다. 그러나 정확한 산사태 위치자료는 실제 산사태가 발생한 지역에 대한 정확한 측량작업을 수행해야만 한다.

표 1은 연구대상지역내에서 과거 발생하였던 산사태 지역의 위치를 나타낸 것으로서 소방방재청에서 작성한 자료이다.

이 연구에서도 산사태 위치가 표시되어 있는 지

적도를 근거로 좌표를 추출하였으며, 추출된 자료를 근거로 수치화작업을 수행하여 공간 DB를 구축하였다.

표 1 연구지역내의 산사태 발생지

지구명	위치	좌표	비고
동지구	삼척시 정라 산3-1	216798.0, 437826.0	No1
동지구	삼척시 남양 남양 110-1	214956/0, 437564.8	No2
도계지구	삼척시 도계 도계산 42-1	204370.0, 416452.0	No3
도계지구	삼척시 도계 전두 산 53	203500.0, 414580.0	No4

표 2는 산사태 발생지에서의 인자분석 결과를 나타낸 것이다. 산사태 발생지 네 곳을 선정하고, 지도 자료로부터 그 지역에서의 지형, 지질, 토양, 임상 특성을 분석하여 산사태가 일어난 지역의 특징을 열거한 것이다. 산사태 지점 No1은 삼척시 정라 산3-1번지에 해당하는 지역이며, No2는 삼척시 남양 110-1번지에서 발생한 산사태를 말한다. 또한 No3은 삼척시 도계 도계산 42-1번지이고 No4는 삼척시 도계 전두 산 53번지를 말한다.

표 2 산사태 발생지에서의 인자분석 결과

산사태 지점	No1	No2	No3	No4	
DEM	경사	2.7.	18.6.	11.9.	28.
	경사 방향	남서	북동	남서	북동
	경사 모양	평행	볼록	볼록	볼록
지질도	단층	무	무	무	무
토양도	모암	변성암	제4기층	제4기층	퇴적암
	배수	양호	양호	매우 양호	양호
	토심 (cm)	50~100	50~100	<20	50~100
임상도	임상	미립 목지	미립 목지	미립 목지	미립 목지
	경급	치수	치수	치수	치수
	밀도	소	소	소	소

4. 산사태 유발인자의 경중률 계산

4.1. AHP법의 처리과정

AHP는 Analytic Hierarchy Process의 머리말로서 '계층적 분석과정'이라 해석될 수 있다. 이 기법은 Saaty에 의해 1960년대에 처음으로 소개된 후 계속 발전되어 왔다.

AHP는 달성해야 할 목표, 의사결정을 위한 여러 가지 기준 및 선택해야 할 대안들로 구성된 계층적 구조를 통해 복잡한 문제에 대한 최적의 의사결정을 모색할 수 있도록 고안된 의사결정지원 시스템(decision support system)이다. AHP는 각 기준에 관련된 대안들의 선호도뿐만 아니라 전체적인 목표에의 기여도 관점에서 각 기준들의 상대적 중요도에 관한 의사결정자의 판단에 기초하여 결정하게 되며, 이 판단은 의사결정자의 지식과 경험, 객관적 자료 등에 근거해야 한다.

그림 12는 AHP법에서 의사결정을 하는 과정을 도식화한 것으로서, 우선 상대적 중요도인 RIW(Relative Importance Weight)를 계산하고 대안을 선정하여 대안에 대한 최종단계의 경중률을 계산해야 한다.

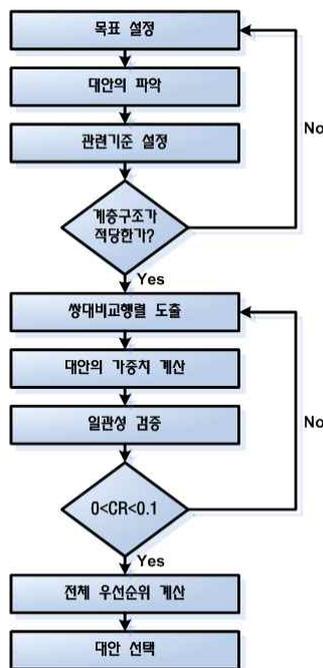


그림 12 AHP의 처리과정

그림 13은 AHP의 적용과정에서 제일 먼저 수행해야 할 계층구조를 나타낸 것으로서, 각 대안 및 항목별로 문제의식의 판단을 통하여 입력값을 계산하게 된다. 여기서 대안(project)들은 각 항목들에 대한 우선순위를 선정하여 추출하고자 하는 결과물에 해당한다.

표 3은 각 단계별로 상대적 중요도인 RIW를 계산하기 위한 쌍비교행렬상의 중요도에 대한 척도를 표현한 것이다. 여기서 중요도의 척도는 요소들 간의 상대적 우위를 설명하는 용어로 상대비교우위를 분명히 하고자 1, 3, 5, 7, 9 등의 순서로 척도를 결정한다.

표 3 쌍대비교행렬의 중요도

척도	정 의	실 명
1	같다	두요소가 차상위수준에서 볼 때 똑같이 중요
3	약간 중요하다	한 요소가 다른 요소보다 약간 중요
5	중요하다	한 요소가 다른 요소에 비해 훨씬 중요
7	매우 중요하다	한 요소의 우위가 실증됨
9	절대적으로 중요하다	한 요소의 우위성이 절대시 됨
2,4,6,8	중간 정도의 중요도	-

4.2. 경중률 계산

산사태를 유발하는 인자들로서 경사, 경사방향, 경사모양, 지질단층, 토양모양, 토양의 배수상태, 토양의 유효토심, 임상, 임상경급, 임상밀도 등 10개 인자를 선정하였으며, 각각의 유발인자별로 쌍비교를 통해 상대적 중요도인 RIW를 계산하였다.

지형인자의 영향을 고려하기 위해서 DEM에서 경사, 경사방향, 경사모양 등의 정보를 추출하여 자료층을 구축하였으며, 표4와 표5는 유발인자들 중 경사에 대하여 RIW와 CR을 계산한 예이다.

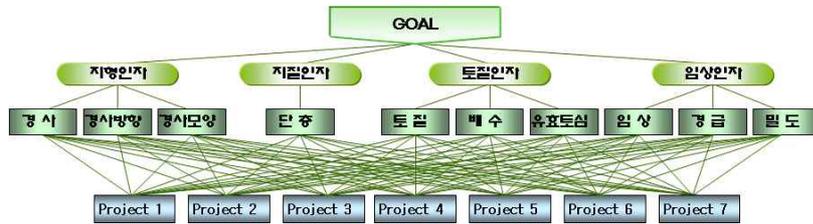


그림 13 계층구조 형성

표 4 경사 인자의 RIW 계산

경사	21~40	11~20	기타경사
21~40	1	5	7
11~20	1/5	1	3
나머지	1/7	1/3	1
열의합	1.343	6.333	11.000

목의 인자가 비교대상이 되는 인자와 비교하여 상대적 중요도가 높다고 판단되면 3의 값을 부여하였으며, 상대적 중요도가 같은 경우는 1점, 상대적 중요도가 낮다고 평가되면 1/3점을 부여하여 쌍비교행렬을 작성하여 계산하였다.

표 5 경사인자의 CR 계산

경사	21~40	11~20	기타	행의합	행의합/중요도
21~40	0.724	0.966	0.583	2.273	3.141
11~20	0.145	0.193	0.250	0.588	3.043
나머지	0.103	0.064	0.083	0.251	3.014
합	-	-	-	-	9.197

경사	21~40	11~20	기타	열평균
21~40	0.745	0.789	0.636	0.724
11~20	0.149	0.158	0.273	0.193
나머지	0.106	0.053	0.091	0.083
열의합	1.000	1.000	1.000	1.000

$$\lambda_{max} = 3.066$$

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) = 0.033$$

$$\text{적합성 지수} : CR = CI / RI = 0.057$$

표 6은 산사태 유발인자들 간의 상대적 중요도 RIW를 결정하기 위해 계산한 표를 나타낸 것이다. 전체 10개에 달하는 산사태 유발인자들 간의 상대적 중요도를 계산하기 위해서, 평가하고자 하는 항

표 6 산사태 유발인자별 RIW 계산

	경사	경모	경방	단층	모암	배수	토심	임상	경급	밀도	합계	비례가중치
경사	-	3	3	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	9.00	7.07
경모	1/3	-	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	4.33	3.40
경방	1/3	1	-	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	4.33	3.40
단층	1	1	1	-	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	5.00	3.93
모암	3	3	3	3	-	1	1	1	1	1	17.00	13.35
배수	3	3	3	3	1	-	1	1	1	1	17.00	13.35
토심	3	3	3	3	1	1	-	1	1	1	17.00	13.35
임상	3	3	3	3	1	1	1	-	1	1/3	16.33	12.83
경급	3	3	3	3	1	1	1	1	-	1/3	16.33	12.83
밀도	3	3	3	3	1	1	1	3	3	-	21.00	16.49
합계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127.32	100

4.3. 대안선정 및 대안별 경중률 계산

이 연구에서는 전체 7개의 대안을 선정하였다. 우선 각 인자들에 대하여 지형인자, 지질인자, 토질인자, 임상인자 등 4가지로 대분류를 결정하였으며, 지형인자를 'a', 토질인자를 'b', 임상인자를 'c', 지질인자를 'd'로 정하여 우선순위의 순서를 선정하였다. 대안 1의 경우는 지형인자(a), 토질인자(b), 임상인자(c), 지질인자(d)의 중요도를 동일하게 평가하였을 경우를 말하며, 대안2는 인자의 중요도를 지형인자(a), 토질인자(b), 임상인자(c), 지질인자(d)의 순으로 중요도를 달리해서 평가한 것을 말하며, 대안 7의 경우는 임상인자(c), 토질인자(b), 지형인자(a), 지질인자(d)의 순으로 중요도를 달리해서 평가한 것이다. 표 7은 대안을 결정하기 위해 인자들의 우선순위를 나열한 것이다. 앞의 3장에서 설명하였듯이 지질의 단층인자와 산사태와의 관련성은 미비한 것으로 평가되었다. 따라서 대안 선정과정에서 지질인자인 d의 중요도를 가장 낮게 부여하여 대안별 경중률을 계산하였다.

표 7 대안 선정

대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
a=b=c=d	a>b>c>d	a>c>b>d	b>a>c>d
대안 5	대안 6	대안 7	-
b>c>a>d	c>a>b>d	c>b>a>d	-

표 8은 표 7의 대안에 대하여 대안별로 상대적 중요도를 고려하여 종합한 각 인자내 분류항목별 경중률을 계산한 것이다. 각 대안별로 상대적 중요도를 계산하여 종합한 결과 대안 7이 결정되었다.

표 8 대안별 경중률 계산

단계				대안						
1	2	3	4	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6	대안7
G O A L	지형인자(A)	경사	1	1.278	2.955	2.955	1.495	0.344	1.495	0.344
			2	0.341	0.789	0.789	0.399	0.092	0.399	0.092
			3	0.147	0.340	0.340	0.172	0.040	0.172	0.040
		경사모양	1	0.547	1.265	1.265	0.640	0.147	0.640	0.147
			2	0.241	0.556	0.556	0.281	0.065	0.281	0.065
			3	0.063	0.145	0.145	0.073	0.017	0.073	0.017
		경사방향	1	0.539	1.246	1.246	0.630	0.145	0.630	0.145
			2	0.222	0.512	0.512	0.259	0.060	0.259	0.060
			3	0.090	0.023	0.023	0.023	0.024	0.106	0.024
	지질인자(d)	단층	1	0.818	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205
			2	0.164	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041
	토질인자(B)	모양	1	2.415	2.824	0.649	5.582	5.582	0.649	2.824
			2	0.645	0.754	0.173	1.490	1.490	0.173	0.754
			3	0.278	0.325	0.075	0.643	0.643	0.075	0.325
		토심	1	2.415	2.824	0.649	5.582	5.582	0.649	2.824
			2	0.645	0.754	0.173	1.490	1.490	0.173	0.754
			3	0.278	0.325	0.075	0.643	0.643	0.075	0.325
		배수	1	2.147	2.511	0.578	4.964	4.964	0.578	2.511
			2	0.944	1.104	0.254	2.182	2.182	0.254	1.104
			3	0.246	0.288	0.066	0.569	0.569	0.066	0.288
	임상인자(C)	임상	1	2.320	0.624	2.713	0.624	2.713	5.363	5.363
2			0.620	0.167	0.724	0.167	0.724	1.432	1.432	
3			0.267	0.072	0.312	0.072	0.312	0.618	0.618	
경급		1	2.063	0.555	2.413	0.555	2.413	4.769	4.769	
		2	0.907	0.244	1.061	0.244	1.061	2.097	2.097	
		3	0.237	0.064	0.277	0.064	0.277	0.547	0.547	
벌도		1	3.043	0.818	3.558	0.818	3.558	7.033	7.033	
		2	0.691	0.186	0.808	0.186	0.808	1.597	1.597	
		3	0.389	0.105	0.455	0.105	0.455	0.900	0.900	
합				25.000	22.621	23.09	30.198	36.646	31.349	37.245

5. 산사태 취약성 평가

산사태를 유발하는 인자들에 대한 커버리지 자료들을 중첩하여 산사태 발생 취약성을 평가하기 위해서 각각의 커버리지 자료들을 그리드 자료로 변환하고 그리드 연산기능을 이용하여 산사태 발생 취약도를 작성하였다.

그림 14에서 No1, No2, No3, No4는 앞서 설명한 과거 산사태가 발생하였던 위치를 지도상에 표시한 것이다. No3과 No4지역이 포함된 삼척시 도계지역을 확대하여 표현하였는데 과거 산사태 발생 지역의 위치가 이 연구에서 제작한 산사태 취약성도에서 산사태 발생가능성이 높은 지역에 위치하고 있음을 시각적으로 확인할 수 있다.

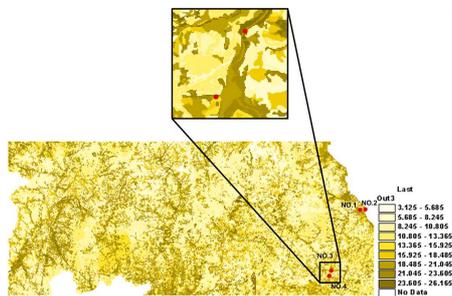


그림 14 산사태 취약성도(Map)

6. 결론

산사태를 유발하는 인자를 분류하여 AHP에 의해 경중률을 계산하고, GIS DB를 구축하여 산사태 취약성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 각종 문헌자료들을 연구하여 산사태 유발 인자들을 분류하고 이를 데이터베이스로 구축하였으며, 과거 산사태가 발생한 위치를 기준으로 비교한 결과 과거 산사태가 발생하였던 위치가 산사태가 취약성이 큰 지역에 분포하고 있음을 알 수 있었다.

둘째, 과거 산사태가 발생하였던 위치에 대하여 산사태 유발인자들을 분석한 결과 임상인자와 토양인자의 영향은 문헌의 경우처럼 산사태에 미치는 영향이 큰 것으로 분석되었으며, 지형인자와 지

질인자의 영향은 작은 것으로 분석되었다. 특히 지질의 단층정보가 산사태에 미치는 영향은 극히 미비한 것으로 분석되었다.

참고문헌

- [1] 김제천, "GIS와 AHP법을 이용한 산사태 발생지역 예측", 강원대 산업대학원 석사학위논문, 2001.
- [2] 최광식, "GIS와 AHP법을 이용한 폐기물 매립지 예측 평가 방법", 강원대학교 대학원 석사학위논문, 1999.
- [3] 황석훈, "GIS를 이용한 산사태 지역의 분석 및 위험도 작성", 강원대 대학원 석사학위논문, 2002.
- [4] 건설교통기술평가원, "산사태 발생 예측 및 피해저감기술", 2004.
- [5] Baldelli, P., Aleotti, P. and Polloni, G., "Landslide-susceptibility numerical at the messina straits crossing site", *Italy Proceeding of the seventh international symposium on landslides*, pp153-158, 1996.