

GIS와 AHP를 이용한 산사태 취약지 결정 및 유발인자의 영향 The Effect of Landslide Factor and Determination of Landslide Vulnerable Area Using GIS and AHP

양인태* · 천기선** · 박재훈***

Yang, In Tae · Chun, Ki Sun · Park, Jae Hoon

要 旨

강원도 지역은 산지지형이 많고 여름철 장마나 이상기후에 의한 국지적인 집중호우에 의해서 산사태가 자주 발생하고 있다. 산사태를 유발하는 인자들은 매우 다양하고 붕괴 메커니즘이 매우 복잡하기 때문에 산사태와 같은 자연현상을 분석하고 연구하기에는 많은 어려움이 따른다. 그러나 GIS를 이용하면 효과적으로 자료를 분류하고 분석할 수 있으며, 컴퓨터에 의해 실제계를 모델링함으로써 분석결과를 시각적이고 객관적으로 설명할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 과거 산사태가 발생하였던 지역에서의 산사태 발생 원인에 대한 분석을 통해서 산사태를 유발하는 인자를 결정하고, 각 유발인자들을 등급별로 분류하여 GIS DB를 구축하였으며, AHP법에 의해 경중률을 계산하고 GIS를 이용하여 연구지역에 대한 산사태 발생취약성을 평가한 후, 각각의 산사태 유발인자의 영향을 분석한 결과 임상인자의 영향이 가장 큰 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 산사태, 지리정보 체계, 계층적 분석 과정

Abstract

Kangwondo area is mountainous and landslide happens easily during the rainy period in summer time. Especially, when there is torrential downpour caused by the unusual weather change, there will be greater possibility to see landslide. It is very difficult to analyze and study a natural phenomenon like the landslide because there are so many factors behind it. And the way to conduct the analysis is also very complicated. However, if GIS is used, we can classify and analyze data efficiently by modeling the real phenomenon with a computer. Based upon the analysis on the causes of landslide in the areas where it occurred in the past, therefore, this study shows several factors leading to landslide and contains the GIS database categorized by grade and stored in the computer. In order to analyze the influence of every factor causing landslide, we calculated the rates of weight by AHP and evaluated landslide vulnerability in the study area by using GIS. As a result of such analysis, we found that the forest factor has most potential influences among other factors in landslide.

Keywords : Landslide, GIS, AHP

1. 서 론

강원도 지역은 매년 여름철 장마나 태풍의 집중호우에 의해 산사태가 자주 발생하는 지리적 특성을 가지고 있어 산사태로 인한 피해는 매년 되풀이되어 발생하고 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위해서는 산사태에 대한 다양하고 정량적인 연구가 이루어져야 한다.

산사태가 일어나는 원인은 매우 다양하고 복잡하기 때문에 이를 정확히 분석하고 모델링하는 것은 매우 어

려운 작업이다. 특히 산사태는 지역별로 다양한 원인에 의해 발생하고 있고, 대부분 인공사면에서의 조사와 연구가 주를 이루고 있을 뿐 자연사면에서의 산사태에 대한 조사와 연구는 극히 미비한 것이 현실이다.

산사태를 미연에 방지하고 산사태에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 산사태 발생지역을 면밀히 조사하여 발생원인을 분석하고 산사태 취약지를 예측하여 정책으로 관리해야 한다. 특히 산사태 관리 지역이 광범위한 경우 광대한 양의 관련정보들에 대한 처리와 분석이 요

2006년 1월 4일 접수, 2006년 2월 8일 채택

* 강원대학교 토목공학과 교수 (intae@kangwon.ac.kr)

** 경동대학교 토목환경공학 전공 겸임교수 (chunkiss@hanmail.net)

*** 경동대학교 토목환경공학 전공 교수 (parkjh@kyungdong.ac.kr)

구되기 때문에 GIS와 같은 공간분석시스템의 활용은 절대적이라 할 수 있다.

산사태 연구는 취약성 평가, 가능성 평가, 위험성 평가 등 3단계로 분류할 수 있다. 취약성 평가는 그 첫 번째 단계이다. 가능성 평가나 위험성 평가가 강우나 지진과 같은 외적영향을 고려하여 산사태를 평가하는 것이라 한다면, 취약성 평가는 이러한 외적영향을 고려하지 않고 단지 정적자료(지형, 지질, 지표상태 등)만을 고려하여 산사태를 평가하는 것을 말한다. 현재 이루어지고 있는 대부분의 연구성과들은 취약성 평가가 주를 이루고 있다고 할 수 있다.

산사태 취약성 평가를 위해서는 산사태를 유발하는 다양한 영향인자들을 분석하고 각 인자들이 산사태에 미치는 영향을 고려해야 하지만, 각 인자들이 산사태에 미치는 영향정도를 정량적으로 파악하는 것은 매우 복잡하고 어려운 작업이다. AHP는 각각의 인자들을 분석하여 인자들에 대한 가중치를 계산함으로써 산사태를 평가하고 그 영향정도를 정량적으로 파악할 수 있는 방법이 된다.

따라서 이 연구에서는 산사태를 유발하는 인자들을 고려하여 각 인자별 자료층(layer)을 GIS 데이터베이스로 구축하였으며, AHP와 GIS에 의해 산사태 취약성을 분석하고 각 유발인자들이 산사태에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

2. 연구동향 및 방법

2.1 연구동향

국내 및 국외에서 수행되는 산사태 연구의 핵심기술은 산사태 조사기술, 산사태 평가 및 예측기술, 실시간 모니터링 기술 등으로 대표된다. 산사태 조사기술은 각 나라마다 지질특성과 자연환경이 다르기 때문에 그 지역의 특성을 고려한 조사기술이 필요하다. 우리나라의 경우 산사태 조사기술은 상당한 수준에 도달했다고 볼 수 있다. 산사태 평가 및 예측 기술은 산사태를 연구하는 주목표에 해당하는데, 산사태와 관련된 다양한 변수를 얼마만큼 정확히 규명하고 적용할 수 있는지가 관건이라 할 수 있다. GIS가 보급되면서 지질 및 지형특성을 고려하여 각 유발인자들에 대한 데이터베이스를 구축하게 되면서 과학적이고 정량적인 연구가 활발히 진행되고 있다. 실시간 산사태 모니터링 기술의 경우, 선진국에서는 이미 산사태 위험성이 높은 지역을 대상으로 실시간 모니터링을 수행하여 산사태 발생을 미리 예측하고 조기경보를 내릴 수 있는 체계를 구축하고 있다.

산사태 연구를 위한 GIS의 활용은 1960년대 말부터 적용되었다. Carrara(1978)는 약 25개의 인자를 사용하

여 200m×200m의 격자자료를 이용하여 다변량 분석을 통해 산사태 가능지역을 평가하였으며, Radbruch Hall (1979)은 소축적 지도(1:7,500,000)를 600만개의 격자로 재구축하여 산사태 위험지역, 불안한 지질상태를 갖는 지역, 공사나 개발을 할 때 기존의 위험지역을 더욱 불안정하게 만드는 지역 등으로 분류하여 표현하였다. Kumar (1996)는 암상, 경사각, 사면단면, 강우, 수계밀도, 침식, 입상밀도, 인위적 활동 등을 산사태 유발인자로 선정하여 산사태 위험등급을 평가하고 1~4등급까지 등급을 나누고 각 등급별로 점수를 부여한 후 점수를 합산하는 방법으로 산사태 취약성도를 작성하였는데, 수작업에 의해 처리하여 소규모지역에 대해 시범 적용하였다. Baldelli (1996)는 지질도, 지형도, DEM 등을 이용하여 GIS 분석을 통해 산사태 취약도를 작성하였으며, Truini와 Visintainer(1998)는 침식율, 배수율, 지질구조, 사면경사, 토지이용도 등을 중첩하여 산사태 지역에서의 특성을 분석하였다.

국내의 경우, 광재하(1994)는 산사태 발생지점의 현장 조사 및 사진판독으로 그 지역의 표고, 경사도, 규모, 식생 특성을 고찰하여 산사태 발생요인을 분석하고자 하였으며, 신은선(1996)은 GIS를 이용한 산사태 분석연구로서 지형도, 지질도, 토양도, 수맥도 등을 이용하여 보령·서천지역을 대상으로 산사태 취약지를 분석하였다. 최도연(1999)은 산사태 지역을 대상으로 사면경사, 경사방향 및 분수선 등을 분석하여 효과적인 산사태 예방대책 수립의 기초자료를 제공하고자 하였으며, 산사태와 지형특성과의 관계를 살펴보고 그 특성을 분석하고 지반조사 결과와 비교하였다. 이사로(2000)는 과거 산사태 발생지역에서의 산사태를 연구하여 제시한 확률론적 산사태 발생가능성, 즉 로지스틱 회귀분석모델에 조사시험결과를 적용하여 연구지역에 대한 산사태 발생가능성을 예측하고자 하였으며, 그 결과 1998년 발생한 산사태를 대상으로 현장 조사를 병행하고 자료를 분석함으로써 산사태 취약지를 선정하였다. 김건호(2002)는 사면의 붕괴형태 측면에서 토석류의 발생원인과 거동, 국내 산사태의 발생현황 및 파괴양상을 조사하고 한계평형 해석모형에 대한 검토를 통해 이 해석기법의 적용성을 연구하였다. 이들 결과로부터 최재원(2002)은 대상지역을 선정하고 산사태 취약성 분석자료를 이용하여 안전율을 정량적으로 산정하고 산사태 위험도를 분석하였다.

2.2 연구방법

본 연구의 대상지역은 원주, 횡성, 평창, 정선, 영월, 태백, 삼척, 동해 등이 포함된 강원도 남부지역을 대상으로 하였다. 특히 강원 영동지방은 최근 루사 및 매미 등의

태풍에 의한 산사태 피해가 심각한 지역이다.

이 연구에 이용된 연구자료는 표 1과 같다.

그림 1은 연구흐름을 간략하게 나타낸 것이다. 우선 산사태를 유발하는 인자들을 조사하여 각 인자들을 분류하고 AHP에 의해 경중률을 계산한 다음, 강원도 남부지역을 대상으로 산사태 유발인자들에 대한 GIS DB를 구축하고 GIS 그리드 분석기능에 의해 산사태 취약성을 평가하여 산사태 취약지를 결정하였으며, 아울러 산사태 유발인자들을 분석하여 산사태에 미치는 영향을 평가하였다.

3. AHP에 의한 경중률 계산 및 적용

3.1 산사태지역에서의 유발인자 분석

표 2는 연구지역내에서 과거 2002년 태풍 루사에 의해 산사태가 발생하였던 지역의 위치를 나타낸 것으로서 소방방재청에서 제공한 자료이다. 표 3은 표 2의 산사태 발생지에 대한 산사태 유발인자의 분석결과를 나타낸 것으로서 문헌조사 결과와 비교적 일치하고 있으나 지질의 경우 일치하지 않는 것으로 분석되었다. 표 3의 분석자료

표 1. 연구자료

자료	내용	
DEM	1초	고도정보
지질도	1/25,000	단층정보
토양도	1/25,000	모암정보 배수상태 유효토심
임상도	1/25,000	임상정보 임상경급 임상밀도

는 AHP의 대안결정시 쌍비교행렬 계산을 위한 중요도를 부여할 때 고려하였다.

표 3의 분석결과를 정리하면, 우선 임상인자와 토양인자의 경우 산사태 발생에 취약하다고 보고된 기존의 연구결과들과 일치하였으나, 지질단층 인자의 경우 단층의 영향과는 관련성이 미비한 것으로 분석되어 기존의 연구결과와는 일치하지 않았다. 또한 DEM의 지형자료를 분석한 결과 기 보고된 기존의 연구결과에서는 경사의 경우 20° ~ 50°, 경사방향은 남향, 남동, 남서 등의 방향, 경사모양의 경우 오목한 지형인 하강사면에서 산사태가 많이 발생하는 것으로 보고되었지만, 이 연구지역에서의 산사태 발생지 분석결과와는 일치하지 않는 측면도 많이 있었다. 따라서 본 연구에서는 산사태 유발인자들에 대한 기존의 문헌 연구를 통해 얻어진 결과를 기초로 표 3의 내용을 추가하여 산사태 유발인자를 분류하여 사용하였다.

3.2 AHP에 의한 경중률 계산

Saaty에 의해 1960년대에 처음으로 소개된 AHP는 Analytic Hierarchy Process의 머리말로써 ‘계층적 분석과정’이라 해석될 수 있다(Saaty, 1908). 이 기법은 달성해야

표 2. 연구지역내의 산사태 발생지

위치	좌표	비고
삼척시 정라 산 3-1	216798, 437826	No. 1
삼척시 남양동 110-1	214956, 437564	No. 2
삼척시 도계읍 42-1	204370, 416452	No. 3
삼척시 도계읍 산 53	203500, 414580	No. 4

표 3. 산사태 발생지에서의 유발인자 분석

산사태 지점	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
DEM	경사	2.7°	18.6°	11.9°	28°
	경사방향	남서	북동	남서	북동
	경사모양	평행	볼록	볼록	볼록
지질도	단층	무	무	무	무
토양도	모암	변성암	제4기층	제4기층	퇴적암
	배수	양호	양호	매우양호	양호
임상도	토심(cm)	50 ~ 100	50 ~ 100	<20	50 ~ 100
	임상	미립목지	미립목지	미립목지	미립목지
	경급	치수	치수	치수	치수
	밀도	소	소	소	소

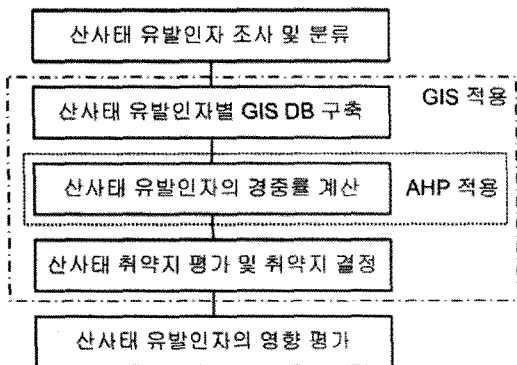


그림 1. 연구방법

할 목표, 의사결정을 위한 여러 가지 기준 및 선택해야 할 대안들로 구성된 계층적 구조를 통해 복잡한 문제에 대한 최적의 의사결정을 모색할 수 있는 의사결정지원시스템(decision support system)이다. AHP는 각 기준에 관련된 대안들의 선호도 뿐 만 아니라 전체적인 목표에의 기여도 관점에서 각 기준들의 상대적 중요도에 관한 의사결정자의 판단에 기초하여 결정하며, 이 판단은 의사결정자의 지식과 경험, 객관적 자료 등에 근거하여 내릴 수 있다. 그림 2는 이 연구에서 AHP를 적용하여 최적의 결정을 내리기 위한 과정을 도식화한 것이다. 우선 산사태 취약지 결정을 위해 필요한 자료의 입력값을 결정하기 위한 목표를 설정하고, 목표를 결정하기 위해 몇 가지의 대안들을 선정하여 다음 대안별로 계층구조를 형성하여 쌍비교행렬을 계산하여 대안을 선택하고 입력값을 결정하였다. 대안들에 대한 가중치 계산에 따른 일관성 검증은 10%이내가 되어야 한다.

그림 3은 AHP의 처리과정 중 계층구조를 형성한 것이다. 1단계는 계층형성결과 목표에 해당하며, 2단계는 목표를 달성하기 위한 대분류 항목들의 비교부분이며, 3단계는 대분류 항목을 세분화한 소분류 항목들에 해당하는 부분으로 설명할 수 있다. 이 연구에서는 총 7개의 대안을 선정하여 대안별 비교를 통해 경중률을 결정하였다. 표 4는 중요도를 달리하면서 여러 개의 대안을 선정하는 방법을 설명한 것으로서 a는 지형인자, b는 토질인자, c는 임상인자, d는 지질인자에 해당한다.

표 4는 AHP의 처리과정 중 대안선정에 대한 것으로서, 이 연구에서는 총 7개의 대안이 선정되었다. 지질인자의 경우 표 3에서 알 수 있듯이, 분석결과 산사태와 관련성이 매우 적은 것으로 분석되어 대안선정시 고려하였다.

표 5는 각 단계별 상대적 중요도를 계산하기 위한 쌍비교행렬의 중요도 척도를 설명한 것이다. 여기서 중요도는 요소들간의 상대적 우위를 설명하는 것으로서 일반적으로 상대비교우위를 분명히 하기 위해서 1, 3, 5 등의

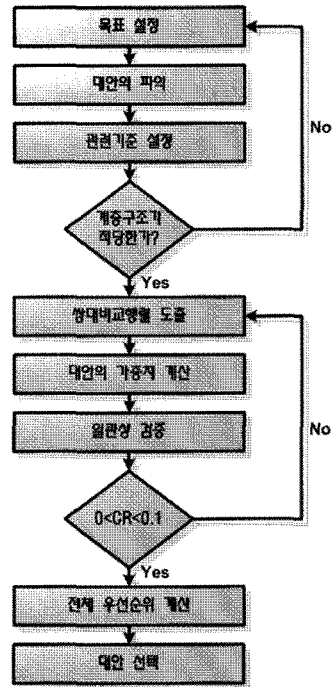


그림 2. AHP의 처리과정

표 4. 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	

a : 지형인자, b : 토질인자,
c : 임상인자, d : 지질인자

순서로 척도를 부여하게 되며, 2, 4, 6, 8 등의 척도들은 중간정도의 중요도를 의미한다.

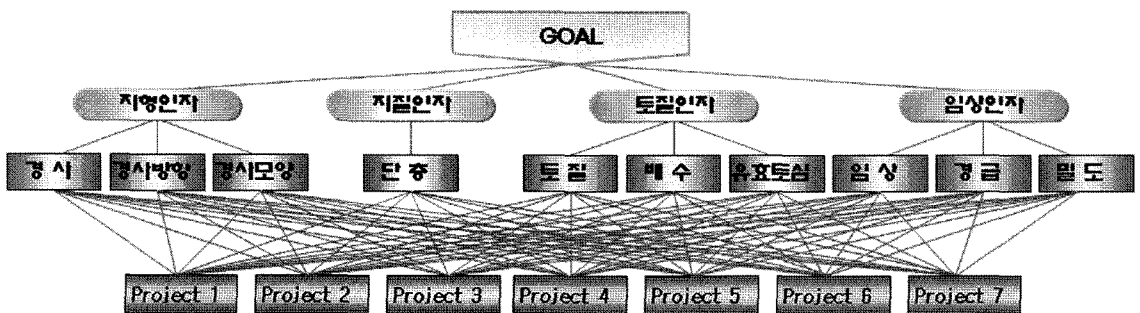


그림 3. 계층 구조 형성

표 5. 쌍비교행렬의 중요도

척도	정의	설명
1	같다	두요소가 차상위 수준에서 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	중간정도	-

다음의 행렬은 요소들 간의 쌍비교 행렬을 나타낸 것으로서, 쌍비교행렬은 대각선의 요소들이 모두 1이 되는 역수 행렬로 표현된다. 각 평가요소들 간 쌍비교결과에 대하여 표 5에 의해 평가척도를 부여함으로써 수치화할 수 있다. 이렇게 구해진 쌍비교치에서 쌍비교행렬 $A = [a_{ij}]$ 를 만들고 이 행렬에서 각 요소별 중요도를 구할 수 있다. 여기서, n 개의 평가항목($a_1, a_2, a_3 \dots, a_n$)의 상대적 중요도를 $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ 이라고 하면, a_{ij} 의 쌍비교치는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{ij} = \frac{W_i}{W_j a_{ij}} = \frac{W_i}{W_j} \quad (1)$$

위 식을 이용하여 쌍비교행렬 a 을 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 쌍비교행렬이란 대각선의 요소가 모두 1이 되는 역수 행렬을 말한다.

$$A = \begin{bmatrix} A1 & A & A & \dots & A \\ A1 & (w1/w1 & w1/w2 & \dots & w1/wn) \\ A2 & (w2/w1 & w2/w2 & \dots & w2/wn) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ An & (wn/w1 & wn/w2 & wn/w3 & wn/wn) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$AW = nW$$

이 식은 다시 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(A - n)W = 0 \quad (3)$$

여기서, n 은 A 의 고유치이고 W 는 A 의 고유벡터이며, 이 때 계산된 최대 고유치 λ_{max} 에 대한 고유벡터가 중요도이다. n 개의 평가항목의 중요도 합계가 1이 되도록 추정치의 수치를 환산하면 각 평가항목의 중요도가 구해지며, 이 중요도는 행렬 A 에서 행의 기하평균을 이용하여 그 근사값을 구할 수 있다.

현실적으로는 정확한 고유벡터 W 를 알지 못하기 때문

표 6. 평균무작위수(RI)

행렬의 크기	1	2	3	4	5	6	7
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32

표 7. 산사태 유발인자의 분류

인자	분류내용	코드
경사	21 ~ 40	1
	11 ~ 20	2
	기타	3
경사 모양	오목	1
	볼록	2
	평행	3
경사 방향	남	1
	북동	2
	북서	3
단층	유	1
	무	2
토질 모양	변성암, 제34기층	1
	퇴적암	2
	화산회, 화성암	3
유효 토심	<20, 20 ~ 50	1
	50 ~ 100	2
	>100	3
배수 상태	배우양호	1
	약간양호, 양호	2
	불량	3
인상	미립목지	1
	침엽수, 활엽수, 인공수	2
	혼효림, 기타	3
경급	치수,	1
	소경목	2
	중,대경목	3
밀도	소	1
	중	2
	밀	3

에 정확한 행렬 A 를 구할 수는 없다. 쌍비교행렬에서 각 평가항목의 상대적 중요도에서 일관성이 없을 경우 쌍비교행렬 A 의 적합성은 낮아지고 중요도 W 의 추정정도도 신뢰성을 잃게 된다. 따라서 쌍비교 행렬에 의해 상대적 중요도인 RIW(Relative Importance Weight)를 구한 후에는 이에 대한 일관성 검증을 평가해야 된다. 일관성 검증은 일관성 지수에 의해 평가할 수 있는데, 일관성 지수 CI(Consistency Index)를 평균무작위수 RI(Random Index)로 나눔으로써 구할 수 있다.

$$CR = CI/RI \quad (4)$$

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

$$\lambda_{max} : \text{행렬 } A \text{의 eigenvalue} \quad (5)$$

여기서, CR은 일관성 검정을 나타내는 수치인데, 일반적으로 CR의 값이 10% 이내인 경우에만 서수적 순위에 무리가 없는 것으로 판단하여 신뢰할 수 있는 결과라는 것을 의미한다. CI(Consistency Index)는 일관성 지수를

의미하며, RI(Random Index)는 평균무작위지수를 나타내는 수치로서 표 6에서 언급하듯이 행렬의 크기에 따라 결정된다.

표 7은 이 연구에서 사용한 산사태 유발인자들에 대한 분류내용을 정리한 것이며, 표 8은 산사태 유발인자들에 따라 AHP에 의해 계산된 대안별 입력값을 나타낸 것이다. 이 연구에서는 AHP에 의한 대안평가 결과 대안 7이 결정되었다.

표 8. 대안별 경중률 계산

계층(단계)			분류 코드	대안						
1	2	3		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
		경사 모양	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
		경사 방향	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)	모암	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
		밀도	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			24.92.000	24.33	24.8270	33.907	40.383	34.852	41.748	

4. 산사태 유발인자의 GIS DB 구축

표 7에서 분류된 10개 항목에 대한 산사태 유발인자들에 대하여 AHP의 경중률 계산결과(표 8) 결정된 대안 7을 고려하여 GIS DB를 구축하고, 각각의 자료층(layer)을 형성하였다. 또한 각 자료층은 GIS의 그리드 분석기능을 이용하여 격자별 연산을 수행하기 위해 격자형태의 그리드 자료로 변환하였다. 이 때 그리드 격자 크기는 30m로 하였다.

5. 산사태 취약성 평가

5.1 산사태 취약지 결정

산사태 취약지는 앞서 구축한 각 유발인자들의 자료층들에 대하여 GIS 중첩(overlay)기능을 이용하여 결정할 수 있다. 그림 4는 격자형 자료로 변환된 산사태 유발인자 자료층을 통합하기 위해 GIS 그리드 중첩을 수행하여 작성한 결과이다. 그리드 자료의 격자값이 클수록 산사태에 취약한 지역에 해당한다고 볼 수 있다.

그림 4의 No. 1, No. 2, No. 3, No. 4등은 표 3에서 제시하였던 과거 산사태 발생지역을 나타낸 것으로서, GIS 그리드 중첩을 통해 도출된 산사태 취약지와 비교한 결과 일치하는 것을 알 수 있다.

표 9는 그림 4의 결과에서 과거 산사태가 발생하였던

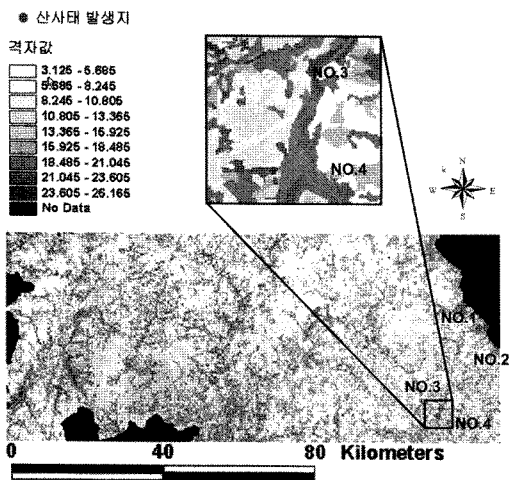


그림 4. 산사태 취약성도(Map)

표 9. 산사태발생지에서의 결과 격자값

위치	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
격자값	25.446	22.105	20.025	25.582

위치에 해당하는 그리드 자료의 격자값을 정리한 것이며, 그림 5는 산사태 취약지 등급을 결정하기 위해 그리드 자료의 격자값에 따른 격자갯수를 나타낸 것이다.

산사태 취약지를 분류함에 있어서 취약한 정도에 따라 분류하여 관리하는 것은 매우 효율적이다. 그런데 산사태 발생이 지역적으로 국지적인 영향, 즉 지형, 지질, 기후 등 수많은 요소들의 복잡한 상호작용에 의해 발생하기 때문에 산사태 취약지를 취약정도에 따라 분류하는 것은 매우 어려운 작업이라 할 수 있다. 본 연구에서는 산사태 취약지를 결정하기 위해 A, B, C, D 등 4개의 등급으로 분류하였는데, 우선 그림 5의 격자값 분포형태를 고려하여 격자값이 적게 분포하는 곳을 선정하여 3개의 등급인 B, C, D등급지로 구분하였으며, A등급지의 경우는 표 9에서 나타난 과거 산사태 발생지역에 해당하는 격자값이 모두 해당하도록 고려하였다. 즉 A등급지의 경우는 표 9를 고려하여 결과 그리드의 격자값이 20을 초과하는 지역으로 선정하였으며, B등급지는 A등급지를 제외한 지역으로 격자값이 14를 초과하는 지역, C등급지는 A, B등급지를 제외한 격자값 9를 초과하는 지역, 그리고 나머지 지역을 D등급지로 선정하였다.

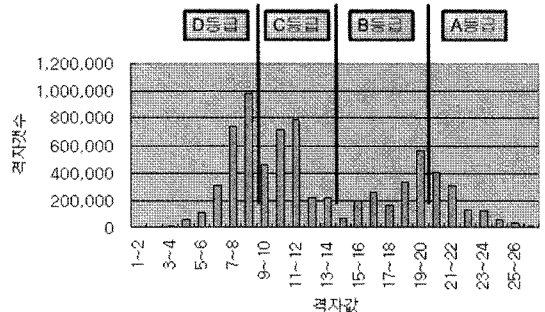


그림 5. 산사태 취약지 등급 구분

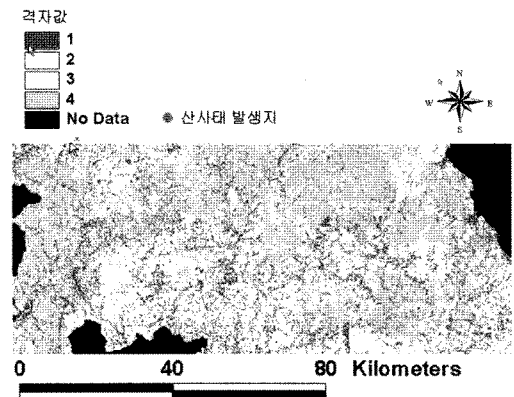


그림 6. 산사태 발생 취약성 등급 분포도

그림 6은 앞서 결정된 산사태 취약등급별로 분류하여 나타낸 분포도이다. 산사태 취약 A등급지의 경우는 산사태가 발생하기 쉬운 지역으로 다른 지역에 비하여 보다 세심한 주의와 감시가 요구되는 지역으로 실시간 모니터링을 통한 관리가 필요하다 할 수 있다.

5.2 산사태 유발인자의 영향

표 10은 산사태 취약성을 평가하기 위해 AHP법에 의해

계산된 각 유발인자들에 대한 입력값에 대해서 산사태 유발인자들이 산사태 취약성에 미치는 영향을 분석하기 위해 정리한 것이다. 총 10개의 항목인 산사태 유발인자들 중에서 임상인자의 영향이 전체 65.5%로서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 토질인자의 경우도 31.5%로서 지질인자 및 지형인자에 비해서 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 세부항목별로 살펴보면 임상인자의 임상밀도의 영향이 전체 25.6%로서 가장 많은 영향을 미치는

표 10. 산사태 유발인자의 경중률 분석

유발인자		세부 항목	경중률	비율(%)	소계(%)	소계(%)
지형인자 (a)	경사	21 ~ 40	0.344	0.9	1.3	2.5
		11 ~ 20	0.092	0.2		
		기타	0.040	0.1		
	경사 모양	오목	0.147	0.4	0.6	
		볼록	0.065	0.2		
		평행	0.017	0.0		
	경사 방향	남, 남동, 남서	0.145	0.4	0.6	
		북, 북동, 동	0.060	0.2		
		서, 북서	0.024	0.1		
토질인자 (b)	모암	변성암, 제3기층, 제4기층	2.824	7.6	10.5	31.5
		퇴적암	0.754	2.0		
		화산회, 화성암	0.325	0.9		
	토심	<20, 20 ~ 50	2.824	7.6	10.5	
		50 ~ 100	0.754	2.0		
		100 <	0.325	0.9		
	배수	매우양호	2.511	6.7	10.5	
		약간양호, 양호	1.104	3.0		
		매우불량, 불량, 약간불량	0.288	0.8		
임상인자 (c)	임상	미립목지	5.363	14.4	19.9	65.4
		침엽수, 활엽수, 인공수	1.432	3.8		
		혼효림, 기타	0.618	1.7		
	경급	치수	4.769	12.8	19.9	
		소경목	2.097	5.6		
		중대경목	0.547	1.5		
	밀도	소밀도	7.033	18.9	25.6	
		중밀도	1.597	4.3		
		고밀도	0.900	2.4		
지질인자 (d)	단층	유	0.205	0.5	0.6	0.6
		무	0.041	0.1		
합			-	100.0	100	100

표 11. 산사태 유발인자 세부항목별 분석

Code	지형인자			토질인자		
	경사	경사방향	경사모양	토양모재	배수상태	유효토심
0	0	0	0	0	0	0
1	309,431	276,801	471,851	333,515	350,622	569,379
2	223,737	345,161	352,844	283,138	514,642	260,912
3	367,825	279,031	76,298	284,340	35,729	70,702
nodata	0	0	0	0	0	0
합	900,993	900,993	900,993	900,993	900,993	900,993

Code	임상인자			지질인자	합	비율
	임상	경급	밀도	지질단층		
0	670,001	775,867	900,233	0	2,346,408	26.0
1	59,180	116,439	759	29,156	2,516,826	28.0
2	75,998	8,687	1	871,837	2,936,957	32.6
3	95,814	0	0	0	1,209,739	13.4
nodata	0	0	0	0	0	0.0
합	900,993	900,993	900,993	900,993	9,009,930	100.0

것으로 분석되었으며, 임상인자의 경급인자 및 임상인자의 영향이 19.9%로서 토질 및 지질, 지형 등의 유발인자들보다 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

표 11은 산사태 유발인자의 세부항목별로 산사태 취약성에 미치는 영향을 분석하기 위해서 산사태 취약성 A등급지로 평가된 지역에 대하여 산사태 유발인자의 격자값의 분포를 조사한 것이다. 여기서 격자값은 유발인자 자료층을 구축할 때 사용한 입력코드이다.

임상인자의 경우 ‘코드 0’의 항목에 대부분의 격자들이 분포하고 있는데 이것은 ‘코드 0’의 경우가 식생이 없는 지역에 해당한다. 따라서 산사태 취약성 A등급지 결정에 가장 큰 영향을 끼쳤다는 것을 알 수 있다.

토질인자의 경우는 격자값의 분포가 ‘코드 1’의 항목에 가장 많이 분포하고 있는데 역시 임상인자 다음으로 산사태 취약성 A등급에 많은 영향을 주었다는 것을 알 수 있다. 여기서 ‘코드 1’은 토질모암의 경우 변성암 및 제3기층, 제4기층 등이며, 유효토심의 경우는 50cm 이하, 배수상태가 매우 양호한 지역을 말한다.

지형인자의 경우는 격자값의 분포가 다른 유발인자들에 비해 비교적 고르게 분포하고 있는데, 이것은 산사태 취약성 A등급지를 결정할 때 그 영향이 임상이나 토질인자에 비해 작다는 것을 알 수 있으며, 지질인자의 경우는 ‘코드 1’보다 ‘코드 2’에서 격자들이 많이 분포하고 있어 그 영향이 가장 작다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

산사태에 대한 연구의 대부분은 인공사면에서의 토질 공학적 사면붕괴 연구가 대부분을 차지하고 있고 자연사면에서의 연구가 이에 미치지 못한 것이 사실이다. 따라서 이 연구에서는 산사태를 유발하는 요소들을 조사하여 강원도 지역에서의 산사태 유발인자들에 대한 영향을 분석하였으며, 산사태 유발인자들에 대한 GIS 공간 DB를 구축하였다. 또한 산사태에 미치는 영향을 고려하기 위해 AHP법을 적용하여 경중률을 계산하였으며, 최종적으로 산사태 취약성을 평가하여 산사태 취약지를 결정하였다. 그 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, AHP를 이용하여 산사태 유발인자들에 대한 경중률을 계산하고 GIS에 의해 산사태 취약성도를 제시할 수 있었으며, 산사태 취약성 평가 결과 예측된 취약지가 과거 산사태 발생지역과 일치하는 것을 알 수 있었다.

둘째, 산사태 취약성을 평가한 후 각 유발인자들의 경중률이 산사태 취약성에 미치는 영향을 분석한 결과 임상인자의 영향이 가장 큰 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있었다.

셋째, 강원남부지역 산사태 취약지에서 산사태 유발인자들의 영향을 분석한 결과 임상인자의 경우 산사태에 매우 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 따라서 지표의 피복상태를 식생상태가 되도록 유지하고 이를 효율적

으로 잘 관리하는 것이 산사태를 최소화할 수 있는 길이 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2005년 건설교통부 건설교통기술평가원 건설기반기술구축사업(지방특성화과제)의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통기술평가원, "산사태 발생예측 및 피해저감기술", 2004.
2. 곽재하, "항공사진의 지형공간정보를 이용한 산사태 위험 예측 기법", 익산대학교 석사학위논문, 1994.
3. 김건호, "GIS 기법을 이용한 토석류 발생 위험도 분석에 관한 연구", 홍익대학교 대학원 석사학위논문, 2002.
4. 김제천, "GIS와 AHP법을 이용한 산사태 발생지역 예측", 강원대학교 산업대학원 석사학위논문, 2001.
5. 신은선, "지리정보시스템을 이용한 보령·서천지역의 산사태 분석", 충남대학교 대학원 석사학위논문, 1996.
6. 이문세, "토질특성에 의한 산사태 가능성 예측 분석", 충남대학교 대학원 석사학위논문, 2001.
7. 이사로, "지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구", 연세대학교 대학원 박사학위논문, 2000.
8. 최광식, "GIS와 AHP법을 이용한 폐기물 매립지 예측 평가 방법", 강원대학교 대학원 석사학위논문, 1999.
9. 최도연, "GIS에 의한 산사태의 위험도 분석", 충남대학교 석사학위논문, 1999.
10. 최재원, "지리정보시스템 및 Bayesian 확률기법을 이용한 보은지역의 산사태 취약성 분석 및 검증", 연세대학교 대학원 석사학위논문, 2002.
11. 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, 1996, pp. 153-158.
12. Carrara, A., M. Catalano, M. Sorrosp-Valvo, C. Realli, and II. Ossi, "Digital Terrain Analysis for Land Evaluation", *Geologia Applicata Idorgeologica*, Vol. 13, 1978, pp. 69-127.
13. Kumer, K., Tolia, D. S. and Kumar, S., "Landslide hazard evaluation in part of Himalaya", *Proceedings of the seventh international symposium on landslides*, 1996, pp. 257-262.
14. Radbruch-Hall, D. H., R. B. Colton, W. E. Davies, B. A. Skipp, and D. J. Varnes, "Preliminary Landslide Overview Map of the Counterterminous Suited States", U.S. Geological Survey, *Miscellaneous Field Studies Map*, MF-771, 1979.
15. Thomas L. Saaty, "The analytic hierarchy process planning", 1980.
16. Turrini, C. M. and Visintainer, P., "Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites", *Italy Engineering Geology* 50, 1998, pp. 255-265.