

래스터 데이터의 지도대수 분석을 위한 GRASS 기반의 웹 시스템 개발

Development of a Web-based System for Raster Data Analysis Using Map Algebra

이인지* · 이양원** · 서용철***

Lee, In Ji · Lee, Yang Won · Suh, Yong Cheol

要 旨

최근 GIS의 보급이 증가하고 공간 데이터 사용자의 요구수준이 높아짐에 따라 웹기반 GIS에서는 단순히 공간 데이터를 지도화하는 것뿐만 아니라 다양한 공간분석과 프로세싱을 통해 공간 정보 및 지식을 효율적으로 제공할 필요성이 제기되고 있다. 또한 공개 GIS 소프트웨어의 발전은 이러한 웹 GIS의 요구를 실현하기 위한 기술적 토대가 되어가고 있다. 본 연구는 공개 GIS 소프트웨어인 GRASS를 이용하여 래스터 데이터의 지도대수 연산을 수행하는 웹 분석 시스템을 구축하는 것을 목적으로 한다. 웹에서의 데이터 분석 방법은 래스터 데이터 처리 시 널리 사용되는 지도대수로 하였으며, 중첩분석에 필요한 가중치는 AHP로 계산하였다. GRASS 기반의 웹 분석 시스템을 구축한 후, 강수량, 표고, 경사각, 경사방향, 토양의 래스터 레이어를 이용하여 산사태 위험도 분석을 시범적으로 구현하였다. 웹과 GRASS의 연동을 통해 지도대수뿐만 아니라 다른 공간분석도 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 지도대수, AHP(Analytic Hierarchy Process), Web GIS, GRASS(Geographic Resources Analysis Support System)

Abstract

Recent spread of GIS and the increasing demand of spatial data have brought about the development of web GIS. In addition to sharing and mapping spatial data, web GIS is also required to provide spatial analytic functions on the web. The FOSS(free and open source software) can play an important role in developing such a system for web GIS. In this paper, we proposed a web-based system for raster data analysis using map algebra. We employed GRASS as an open source software and implemented the GRASS functionalities on the web using java methods for invocation of server-side commands. Map algebra and AHP were combined for the raster data analysis in our system. For a feasibility test, the landslide susceptibility in South Korea was calculated using rainfall, elevation, slope angle, slope aspect, and soil layers. It is anticipated that our system will be extensible to other web GIS for raster data analysis with GRASS.

Keywords : Map Algebra, AHP(Analytic Hierarchy Process), Web GIS, GRASS(Geographic Resources Analysis Support System)

1. 서 론

최근 정보기술과 지리정보시스템(Geographic Information System)이 발전하면서 웹기반 GIS가 대중화되었다. 웹기반 GIS의 장점은 동적인 상호운용성

(interoperability)과 모듈성(modularity)이다. 웹 기반 GIS 서비스의 상호운용성은 다른 플랫폼에서 응용에 의한 공간 데이터와 정보의 공유를 가속화 시킨다. 그리고 웹기반 GIS 서비스의 모듈성은 다양한 범위의 사용자에 의한 특수하고 공간적인 기능의 공유를 촉진시

2010년 11월 15일 접수, 2010년 12월 13일 채택

* 정희원 · 부경대학교 위성정보과학과 석사과정(jiye0506@gmail.com)

** 부경대학교 위성정보과학과 조교수, 지리학박사(modconfi@pknu.ac.kr)

*** 교신저자 · 부경대학교 위성정보과학과 조교수, 공학박사(suh@pknu.ac.kr)

킨다(Li et al., 2010).

공간 데이터 분석 컴퓨팅 환경의 최근 트렌드 중 하나는 개방된 환경에서 분석 기능들에 접근을 위한 웹 기반 GIS이다. 상호운용성에 기반을 둔 웹 GIS는 장소와 시간의 제약을 넘어 인터넷을 통해 지도정보와 지리적 시각화를 사용자에게 손쉽게 제공해줄 수 있게 되었다(신정엽과 홍일영, 2006). 이전의 웹기반 GIS는 단순한 지도 전달, 지도제작의 설명, 지리적 정보의 제공, 공간 데이터베이스를 지도화하여 표출하는 것으로 웹상에서 다양한 공간 모델, 분석, 프로세싱을 통해 산출된 공간 정보와 지식을 효율적으로 다루지 못했다(신정엽과 홍일영, 2006; Li et al., 2010). 하지만 GIS 및 공간 데이터 사용자의 요구수준이 높아지고 그 범위가 다양해짐에 따라 이전의 웹기반 GIS의 특징을 뛰어넘어 단순한 시각화의 기능뿐만 아니라 웹상에서 공간 분석이 가능한 웹기반 지리정보분석 시스템 구축이 필요하다.

GIS에서 여러 가지 공간 데이터 처리를 수행하는 방법 중 기본적인 이론으로 지도대수(map algebra)가 있다. 지도대수 및 중첩분석을 이용한 래스터 데이터 처리의 예로는 산사태, 홍수 등의 자연재해 예측(이진덕 등, 2002; Chau et al., 2004, 양인태 등, 2006; 박재국 등, 2008; 윤홍식 등, 2009), 토지이용계획 및 실버타운의 적지분석(신형일 등, 2000; 구자훈과 성금영, 2001; 이진덕 등, 2001) 등이 있다. 이렇게 래스터 데이터를 기반으로 한 GIS분석에서 가장 기본적이고 많이 쓰이는 것이 지도대수를 이용한 중첩분석 기능이다.

데이터 분석을 지원하는 지리정보시스템의 구축환경에서 GIS 소프트웨어는 상업용 제품들에 거의 의존하였지만 최근에는 공개 소프트웨어의 사용이 활성화되고 있다. 공개 GIS 소프트웨어는 상업용 GIS 소프트웨어와 동일하게 저작권 등에 의한 법적 보호를 받고 있지만 라이선스 면에서는 차이가 있다. 공개 소프트웨어의 라이선스의 특징으로 라이선스를 받는 사람인 라이선시(licensee)는 공개 소프트웨어를 자유롭게 수정하여 사용 가능하다는 것과 일정 조건하에 수정된 내용을 재배포할 수 있다는 것이다(정보통신부, 2007).

본 연구의 목적은 공개 GIS 소프트웨어인 GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)를 이용하여 래스터 데이터의 지도대수 연산을 수행하는 웹 분석 시스템을 구현하는 것이다. 이는 상용 GIS 소프트웨어 설치 없이 웹에서 GIS 연산이 가능함을 의미하며, 웹을 통해 GIS 분석 기능을 공유한다고 할 수 있다. 개방된 환경에서 소프트웨어를 개발하고 데이터를 분석하기 위하여 공개 GIS 소프트웨어인 GRASS를 사용하였으며, 웹과 공개 GIS 소프트웨어의 연동을 통해

웹에서 지도대수 연산 처리와 같은 지리정보 분석을 가능하게 하였다. 웹과 GRASS의 연동에는 java.lang.Runtime 클래스의 exec() 메소드(함수)가 사용되었다.

2. 연구방법

2.1 웹기반 GIS와 오픈소스 소프트웨어

GIS의 발전은 최근 10여 년 동안 데스크탑 환경에서 웹기반 방식으로 변화하고 있다. 기존의 데스크탑 GIS는 간단한 GIS 기능만을 원하는 경우에도 많은 비용을 지불하고 개인별로 GIS 하드웨어, 소프트웨어 환경을 구비해야 했기 때문에 비용 부담이 컸다. 그리고 사회 이동성 증가와 모바일 환경이 발전하면서 GIS의 접근성에 대해 문제가 대두되었으며, 데스크탑 GIS의 한계점으로 언제 어디서나 GIS를 사용하기 위해서는 웹기반의 GIS솔루션이 필수적이게 되었다(신정엽과 홍일영, 2006).

웹기반 GIS의 주요 기능 변화는 그림 1과 같다.

웹기반 GIS 기능은 정적 지도에서 동적인 지도로 변화하였고, 폐쇄적이었던 서비스 구현 방식이 오픈 환경으로 변화하였다. 또, 단순한 지도의 정보 전달뿐만 아니라 공간 분석 및 처리 기능까지 제공해주며, 동적, 입체적, 탐색적 표현이 강조되고 있다. 일방적인 정보 전달방식이 아니라, 사용자와 서비스 서버 간에 다양한 동적 대화가 가능한 방식으로 변화하였다.

웹기반 GIS는 동적 상호운용성과 모듈성의 장점을 가지므로 공간 데이터의 분석 및 구축이 용이하며, 다수의 사용자들이 지리정보를 동시에 검색하거나 분석하여 정보를 공유 할 수 있다. 본 연구는 오픈소스를 이용함으로써 이러한 웹기반 GIS의 장점을 더욱 부각시켰다.

현재 전 세계적으로 280개 이상의 GIS 관련 공개 소프트웨어 프로젝트가 진행 중에 있으며, 기술적인 면에서 일반 상업용 GIS 시스템의 수준과 비슷한 공개 소프트웨어도 상당한 수에 이른다. 공개 GIS 소프트웨어 재단 중에 하나인 OSGeo.org, 지리공간 데이터 개발용

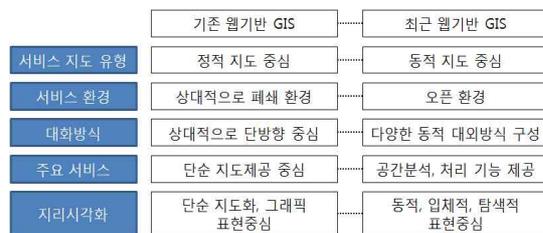


그림 1. 웹기반 GIS의 기능 변화(신정엽과 홍일영, 2006)

공개 라이브러리 중 하나인 GDAL, Java 기반 맵핑 S/W인 GeoTools, 미 육군에서 만든 GIS S/W인 GRASS 등은 모두 공개 GIS 소프트웨어이다(한국정보통신기술협회, 2007).

상업용 GIS 소프트웨어는 계속 사용되어져 왔기 때문에 기존 시스템에 많은 데이터들이 축적되어 있으며, 기술적으로 다양한 성능과 안정성을 지원한다는 장점이 있다. 하지만 벤더들이 소스코드에 대한 소유권을 가지고 있으며, 대부분 소프트웨어 라이선스를 구매하여 사용하기 때문에 다른 사람과 공유할 수 없고 간단한 테스트를 위해서도 제품을 구매해야 한다는 단점이 있다. 그리고 성능 향상과 프로그램 업그레이드를 위해 꾸준한 수정 및 보완 작업이 필요하지만 소스코드의 비공개로 개발이 제한적이다.

공개 GIS 소프트웨어는 기존 상업용 GIS 소프트웨어로부터의 전환에 비용이 들고, 웹상에서 자유롭게 개발되기 때문에 상업용 GIS 소프트웨어에서 볼 수 있는 로드맵을 기대하기 힘들다는 단점이 있다. 공개 소프트웨어는 상업용 소프트웨어와 같이 저작권 등에 의한 법적 보호를 받고 있으며, 이러한 권리에 기반을 두어 공개 소프트웨어 저작자는 이용자에게 라이선스를 부여한다. 공개 소프트웨어 라이선스는 사용자가 자유롭게 사용, 복제, 배포, 수정을 하도록 보장하기 때문에 공개 소프트웨어를 사용하기 전에 라이선스의 내용을 파악해야 한다. 일반적으로 공개 소프트웨어는 무료로 제공되는 것이 많으므로 초기 개발 비용이 적게 든다는 장점이 있으며, 주로 오픈포맷 또는 프로토콜의 사용으로 다른 소프트웨어와 상호 연동성이 보장된다(정보통신부, 2007). 공개 GIS 소프트웨어는 GIS 데이터의 통합과 연계 운용의 비용이 높아 다양한 활용과 응용 개발이 가능하다(한국정보통신기술협회, 2007; Li et al., 2010).

공개 GIS 소프트웨어의 하나인 GRASS는 공간정보 데이터의 관리, 처리, 분석, 시각화하는 오픈소스 GIS 소프트웨어로서 래스터 데이터 처리를 위한 모듈을 제공한다(Carrera-Hernandez and Gaskin, 2006; Neteler and Mitasova, 2008). GRASS는 토양 모델링, 수문학 모델링, 산불 시뮬레이션, 산사태 위험지도와 같은 많은 분야의 공간적인 문제 해결과 공간데이터의 과학적인 분석을 위해 사용되는 모듈을 포함한다. GRASS 소프트웨어와 웹을 연동시킴으로써 공간적인 정보의 처리 및 분석의 공유가 가능하며 이는 웹 브라우저에서 GRASS 기능들을 사용할 수 있음을 의미한다(Li et al., 2010).

2.2 지도대수와 가중치부여

지리정보시스템에서 래스터 데이터는 셀 또는 매트릭스 단위로써 여러 가지 데이터 처리가 수행된다. 래스터 데이터 처리의 기본적인 이론으로는 지도대수가 있다.

Tomlin(1990)은 그림 2와 같이 지도학적 모델링의 지도대수를 각각의 연산과정으로 적용하여 크게 3가지 측면에서 지도학적 모델링 언어를 정립하였다. 첫째는 각 지도 레이어의 개별 위치에서 수학적 처리과정의 결과로 산출된 값을 새로운 지도 레이어에 할당하는 특정 공간의 함수(local function)이다. 둘째는 지도 레이어 별로 이웃하는 위치의 값과 거리, 방향에 관한 수학적 처리과정을 통해 계산된 값을 새로운 지도 레이어에 할당하는 인접한 공간의 함수(focal function)이다. 마지막으로 두 장의 지도 레이어를 이용하여 새로운 레이어를 만드는 처리과정으로써 임의의 지역을 고려한 전체 하에 수학적 처리과정을 거친 새로운 값을 이용하여 새로운 레이어를 만드는 구역의 함수(zonal function)가 이에 해당한다.

지도대수는 피연산자로 공간자료의 처리단위인 지도 레이어가 사용되며, 연산자로는 공간처리함수를 연산자로 하여 모델링하는 대수체계이다(박기호, 1997). 그리고 지도대수는 래스터 데이터를 사용하는 지도제작 공간적인 분석을 수행하기 위해 사용되며, 수학적 모델에 따른 지도 레이어의 결합, 중첩과 같은 처리과정을 나타낸다(Thomas Bruns and Egenhofer, 1997). 지도대수는 공간 데이터 처리단위인 지도와 관련된 공간 모델링 체계 중의 하나로 지리정보시스템의 기본적인 이론으로 잘 알려져 있다.

지도대수는 각각의 래스터 도면을 수학 방정식의 형태로 취급하여 다수의 래스터 도면을 중첩 계산하는 것으로 아주 간단한 방식으로 적용될 수도 있고, 여러 가지 다양한 수학적 함수와 연산자를 이용해서 정밀하고 복잡한 계산식으로 적용될 수도 있다. 래스터 데이터의 각각의 레이어를 중첩 계산 할 때 요소들의 상대적 중

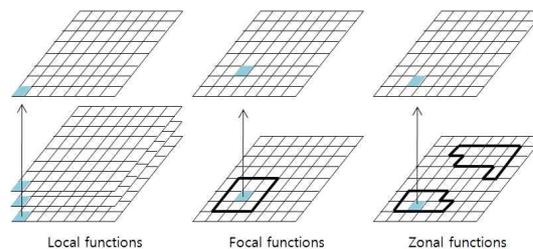


그림 2. Tomlin의 지도대수 함수(Tomlin, 1990)

요도에 따라 가중치(경중률)를 부여하면 보다 정밀한 중첩분석을 수행할 수 있다(유복모, 2002). 그리고 이러한 가중치에 따라 결과 값은 다르게 나타나므로 가중치를 부여하는 방법은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 이용하여 가중치를 부여하였다.

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 하는 의사결정지원시스템(decision support system)으로, AHP의 의사결정 방법은 인자간의 상대적 중요도인 RIW(relative importance weight)를 계산하고 대안을 선정하여 대안에 대한 최종단계의 경중률을 계산하게 된다(양인태 등, 2006). AHP는 전문가들의 집단 의사결정을 체계화할 수 있으며, 의사결정의 대상들의 상대적 중요도를 결정하는데 유용하다. 구조화된 설문을 통하여 전문가들의 의견을 수집 분석한 후, 전문가들의 의견을 종합한 가중치를 산정하기 때문에 객관적이고 복잡한 문제에 대한 최적의사결정을 모색할 수 있도록 하는 의사결정지원시스템이라고 말할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 래스터 데이터 처리가 효과적인 오픈소스 소프트웨어인 GRASS를 웹과 연동하고, 래스터 레이어의 지도대수 연산 시 합리적인 가중치 부여를 위하여 AHP를 이용하였다.

3. 시스템 설계와 구현

3.1 GRASS와 Web의 연동

GRASS 명령어는 스크립트를 통해 외부에서 통계가 가능하므로, 웹과 GRASS의 연동이 가능하다(Neteler and Mitasova, 2008). java.lang.Runtime 클래스의 exec() 메소드는 외부 프로그램을 호출하거나 Java 프

표 1. java.lang.Runtime 클래스와 exec() 메소드 사용의 예시

```
String[] cmd = new String[] {"bash", "-c", ""};
String[] env = new String[] {"GISBASE=/usr/lib/grass64", "PATH=$PATH:/usr/lib/grass64/bin:/usr/lib/grass64/scripts", "LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:/usr/lib/grass64/lib", "GISRC=/home/administrator/.grassrc64"};

cmd[2] = "g.gisenv set=GISDBASE=/home/administrator/grassdata";
Process prc = Runtime.getRuntime().exec(cmd, env);
```

로그래밍 내에서 프로그램 처리 과정들을 관리할 때 사용된다. 이 메소드는 문자열인 배열 환경, 작업 디렉토리 와 함께 지정된 문자열의 명령어를 실행한다(Li et al., 2010). 표 1은 java.lang.Runtime 클래스와 exec() 메소드를 사용한 예시로 우분투 리눅스에서 GRASS GIS의 스크립트와 라이브러리 경로 및 작업 디렉토리를 문자열로 저장하여 호출하는 자바 코드이다.

본 연구에서 웹과 GRASS GIS의 연동 시 java.lang.Runtime 클래스의 exec() 메소드는 GRASS GIS 와 GRASS 명령어를 호출하기 위해 사용되었다.

3.2 Java 라이브러리

JAR (Java ARchive)는 클래스 파일의 효율적인 배포를 위해 여러 클래스 파일들을 하나로 묶어 단일의 파일로 만드는 포맷을 일컫는다. 본 연구에서는 각각의 쌍대비교행렬의 일관성 비율(consistency ratio)을 계산하고, 일관성 비율이 0.1 이하인 쌍대비교행렬을 기하 평균으로 통합하여 산사태 유발 요소의 가중치를 계산하는 AHP 분석기능을 Java로 구현하였다. 이 때, 코딩된 AHP 분석을 서버에서 수행하기 위해서는 AHP 계산 기능을 수행하는 라이브러리가 필요하므로 관련 클래스들을 jar 파일로 생성하여 애플리케이션에서 참조하도록 하였다. 또한, GRASS를 웹과 연동하기 위하여 GRASS GIS의 환경설정, 래스터 파일의 업로드, 지도대수 계산, 시각화를 위한 이미지 파일 생성 등을 Java로 구현하여 jar 라이브러리를 생성하였다.

3.3 시스템의 구성

그림 3은 본 연구에서 구축한 GRASS 기반의 웹 분석 시스템의 구성도이며, GRASS 구동을 위하여 운영체제로는 우분투 리눅스를 사용하였다. 웹 화면은 JSP (Java Server Pages)를 이용하여 구현하였고, JSP 컨테이너로는 Apache Tomcat을 사용하였다. JSP는 기존의 HTML에 Java 언어를 사용할 수 있게 하는 기술로서 서버 측에서 컴파일 되어 동적으로 웹 페이지를 생성하는 방식이다. JSP로 작성된 웹 페이지에서는 GRASS 연동 라이브러리를 참조하여 AHP 및 지도대수 연산이

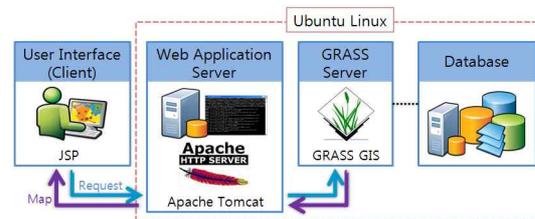


그림 3. GRASS 기반의 웹 분석 시스템의 구성도

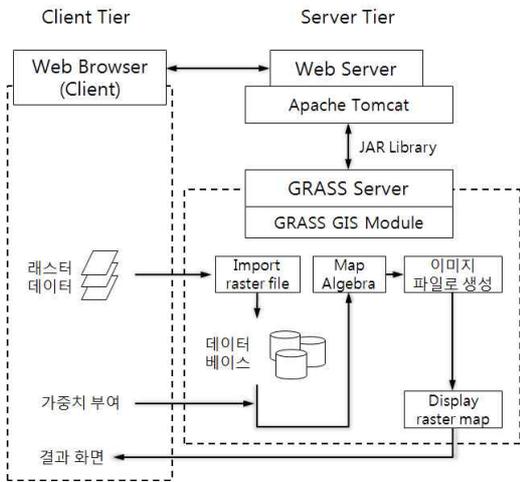


그림 4. GRASS 기반의 웹 분석 시스템의 아키텍처

이루어진다.

그림 4는 본 연구에서 구축한 GRASS 기반의 웹 분석 시스템의 아키텍처이다. 분석 시스템의 첫 번째 단계로 사용자가 웹 브라우저에서 분석하고자 하는 래스터 파일을 업로드하면 GRASS 명령어인 “r.in.gdal”을 이용하여 GRASS에서 분석이 가능한 형태의 파일로 변환되어 서버에 저장된다. 다음 단계는 AHP를 통해 각 요소들의 가중치를 선정하기 위하여 설문지의 결과를 각각의 쌍대비교행렬로 생성한 후 파일을 업로드 한다. 본 연구에서는 쌍대비교행렬을 CSV파일로 만들었으며, 파일을 업로드하면 jar 라이브러리를 통해 각각의 쌍대비교행렬이 계산되어 AHP가 수행된다. 지도대수 연산은 각각의 레이어에 AHP를 통해 구한 가중치를 곱한 값의 합으로 나타낼 수 있으며, GRASS 명령어인 “r.mapcalc”를 이용하여 연산을 수행한다. “r.mapcalc” 명령어는 간단한 지도대수 연산뿐만 아니라 레이어의 값을 재분류하는 등 여러 가지 기능을 수행할 수 있다. 이렇게 래스터 데이터의 지도대수 연산으로 인해 도출된 최종 래스터 파일은 “d.mon”과 “d.rast”라는 GRASS 명령어에 의해서 이미지 파일의 형태로 생성되며 웹상에 시각화될 수 있다.

4. 응용 사례: 산사태 위험도 분석

최근 10년간(2000년~2009년) 여름철 자연재해로 평균 69명의 인명피해와 1조 4,949억 원의 재산피해가 발생하였으며, 산사태 피해 규모는 1980년대의 2,308ha에서 2000년대 7,126ha로 3배 이상 증가하였

다. 이처럼 연평균 산사태 발생은 기상이변으로 인해 2000년대부터 급격히 증가하였으며, 대형화되는 추세이다(소방방재청, 2010). 자연재해는 2차적으로 더 큰 피해가 발생하는 경우가 많기 때문에 위험지역 주변의 주민들에게 재해 정보를 제공하여 사전에 피해를 예방해야 할 필요가 있다.

이러한 산사태 피해를 미리 예측하고 인명 및 재산피해를 최소화하기 위해 GIS를 이용하여 각 지역의 산사태 발생가능성을 분석하고, 적절한 대비책을 세울 수 있도록 산사태 위험지도를 작성하는 많은 연구가 진행 중이다. 이진덕 등(2002), Chau et al.(2004), 양인태 등(2006), 박재국 등(2008), 윤희식 등(2009) 등은 지도대수 및 중첩기능을 이용하여 산사태 발생가능성 평가, 산사태 위험지도 작성을 하였다. 중첩기능 수행 시 주로 두 가지 방법으로 가중치를 부여하는데, AHP(이진덕 등, 2002; 양인태 등, 2006; 박재국 등, 2008)와 다중회귀분석(Chau et al., 2004; 윤희식 등, 2009)을 이용한다. AHP는 여러 가지의 대안들 중 최적의 대안을 찾도록 하며 객관적이고 논리적으로 가중치를 부여하는 방법으로 다중회귀분석보다 산사태 위험도 분석에 자주 쓰인다.

이처럼 주로 지도대수와 AHP를 이용하는 산사태 위험도 분석은 본 연구의 시스템의 테스트 사례로 충분한 것으로 판단되어 이 장에서는 산사태 위험도 분석의 시나리오를 통해 시스템의 가용성을 테스트한다.

4.1 사용자의 데이터 업로드

본 연구의 시스템을 이용하여 산사태 위험도를 분석하기 위해 사용자는 업로드 할 산사태 유발 요소의 래스터 데이터와 유발 요소들의 가중치 선정을 위한 설문조사 결과파일을 준비해야 한다.

기존의 산사태 관련 연구에서 산사태 발생과 밀접한 관련을 가지는 요소를 조사하였으며, 기존 연구에서는 산사태를 유발하는 요소로 강수량(Chau et al., 2004; 윤희식 등, 2009), 경사(이사로 등, 2005; 양인태 등, 2006), 지질(이사로 등, 2005; Pradhan, 2010), 식생(장동호 등, 2004; 천기선과 박재국, 2007), 경사방향(김경태 등, 2005; Ayalew and Yamagishi, 2005), 고도(Chau et al., 2004; 우충식 등, 2008), 곡률(류주형 등, 2002; 이사로 등, 2005), 배수상태(양인태 등, 2006; Pradhan, 2010) 등의 요소를 선정하여 산사태 위험도를 분석하였다.

본 연구에서는 산사태 분석을 하기 위한 응용 사례 데이터로 윤희식 등(2009)이 구축한 산사태 유발 요소와 각 요소들의 위험도 인덱스를 사용하였으며, 산사태

표 2. 쌍대비교행렬의 예시

	강수량	표고	경사각	경사방향	토양
강수량	1	0.5	0.3333	3	0.25
표고	2	1	0.1667	1	0.1667
경사각	3	6	1	5	0.5
경사방향	0.3333	1	0.2	1	0.2
토양	4	6	2	5	1

* 일관성비율(CR) = 0.0958

유발 요소는 강수량, 표고, 경사각, 경사방향, 토양의 5 가지이다. 기상정보로는 강수량, 토질정보로는 정밀도 양도, 지형정보로는 표고, 경사각, 경사방향을 선정하였으며, 산사태는 집중적으로 많은 비가 내리는 7월~8월에 주로 발생하기 때문에 강수량은 사면의 기하학적 구조와 더불어 산사태 발생에 있어 밀접한 관련이 있다(윤홍식 등, 2009). 이 위험도 인덱스는 각 요소의 속성 값에 따라 표준화되어 0에서 1사이의 값을 가진다.

본 시스템은 사용자가 래스터 연산을 위해 사용될 데이터를 업로드하면 GRASS 명령어인 “r.in.gdal”을 라이브러리에서 자동으로 호출한 후, GRASS 객체로 변환하여 서버에 저장한다. 래스터 데이터를 읽고 쓰기 위한 공개 라이브러리인 GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)은 Arc/Info ASCII Grid, Arc/Info Binary Grid, Erdas Imagine, TIFF/GeoTIFF 등의 다양한 래스터 데이터 형식을 지원한다.

래스터 데이터의 업로드 후 사용자는 산사태 유발 요소 레이어의 가중치를 부여하기 위하여 설문결과 파일을 업로드 한다. 설문지는 강수량, 표고, 경사각, 경사방향, 토양의 5가지 요소들에 대하여 산사태 위험도 분석 시 상대적 중요도를 기입하도록 하였다. 다음 표 2는 설문지의 결과를 쌍대비교행렬로 생성한 예시이다. 본 연구에서의 설문 조사는 GIS와 RS 전공자(대학원생과 교수) 약 30명을 대상으로 하였다.

4.2 산사태 위험도 분석의 테스트

그림 5와 같이 본 시스템의 웹 화면에서 앞서 구축한 래스터 데이터를 업로드하면 GRASS 객체로 변환되어 서버 측 데이터베이스에 저장된다. 다음으로 쌍대비교행렬(CSV파일)들을 압축파일로 생성하여 업로드하면 JSP에서 jar 라이브러리를 사용하여 AHP를 수행하게 된다. AHP의 결과로 산사태 유발 요소 각각의 가중치가 도출되면 지도대수 연산을 통해 산사태 발생 위험도를 구한다. 산사태 발생 위험도는 각각의 산사태 유발 요소 레이어와 AHP를 통한 레이어의 가중치를 곱한

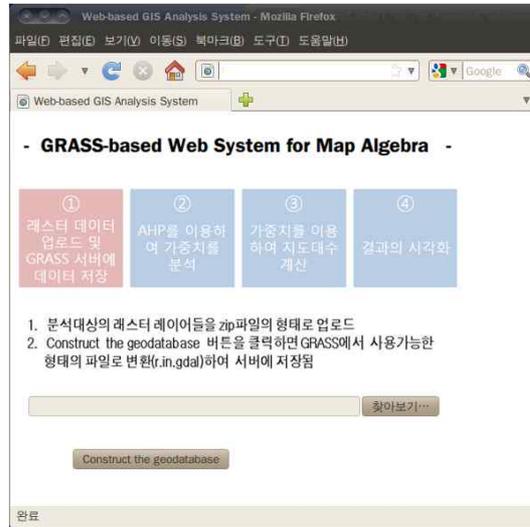


그림 5. 래스터 데이터 업로드

표 3. 산사태 유발 요소 가중치의 예시

산사태 유발 요소	가중치
강수량	0.2055
표고	0.0901
경사각	0.3627
경사방향	0.1025
토양	0.2391

합으로 나타낼 수 있다. AHP의 결과로 도출된 각 레이어의 가중치 예시는 표 3과 같다.

이 가중치를 이용하면 산사태 위험도의 지도대수 연산은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

Landslide Susceptibility

$$\begin{aligned}
 &= (\text{강수량 위험도} \times 0.2055) \\
 &+ (\text{표고 위험도} \times 0.0901) \\
 &+ (\text{경사각 위험도} \times 0.3627) \\
 &+ (\text{경사방향 위험도} \times 0.1025) \\
 &+ (\text{토양 위험도} \times 0.2391)
 \end{aligned}$$

그림 6은 본 연구에서 구축한 시스템으로 산사태 위험도 분석 결과를 시각화한 것이며 GRASS에서 지도대수 연산을 통해 계산된 래스터 데이터는 이미지파일의 형태로 생성되어 웹에 표출된다. 산사태 위험도 값이 커질수록 노란색에서 파란색으로 진해지도록 표현하였으며, 높은 위험도를 갖는 지역은 산지가 많은 강원도 및 지리산 일원이다.

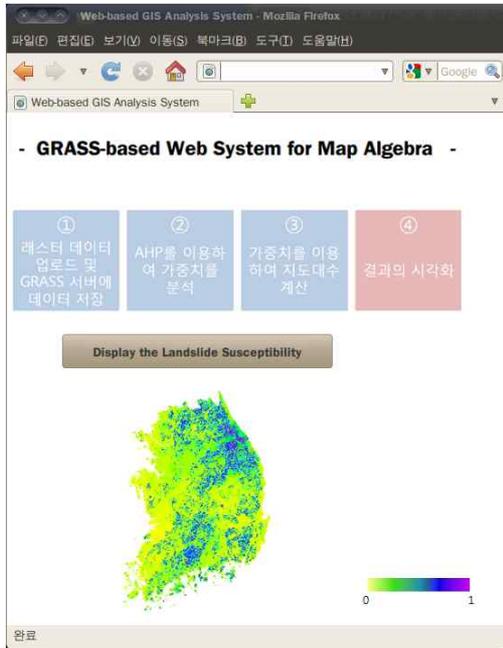


그림 6. 산사태 위험도 분석 결과

산사태 위험도는 그림 7처럼 가중치가 가장 큰 경사각의 영향이 많이 반영되어 경사가 급한 지형의 값이 대부분 크게 나타났다. 두 번째로 큰 가중치를 가지는 강수량(그림 8)은 강원도 지역에서 가장 큰 위험도를 보이며, 이는 상업용 GIS 소프트웨어를 사용한 윤홍식 등(2009)의 결과(그림 9)에서도 나타난다. 본 연구의 가중치와 윤홍식 등(2009)의 가중치(표 4)가 대동소이하기 때문에 강원도 산간지역과 지리산 일대의 산사태 위험도가 높은 것으로 추정되었다.

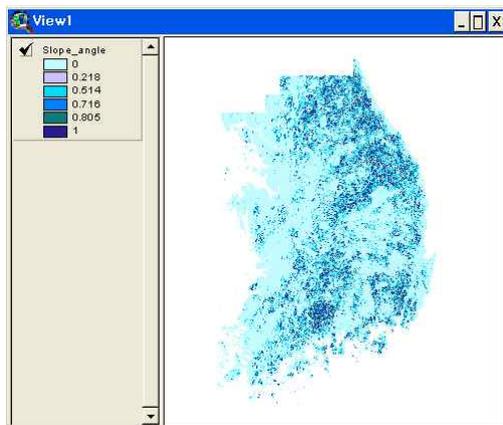


그림 7. 경사각 레이어

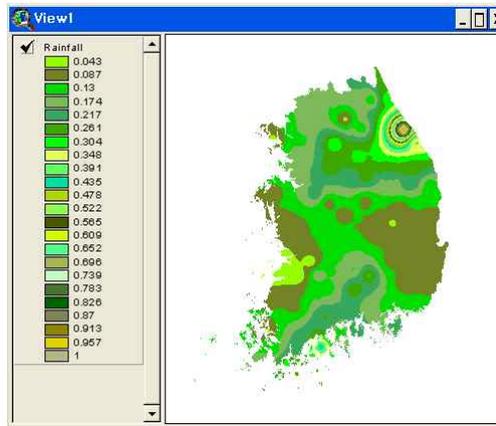


그림 8. 강수량 레이어

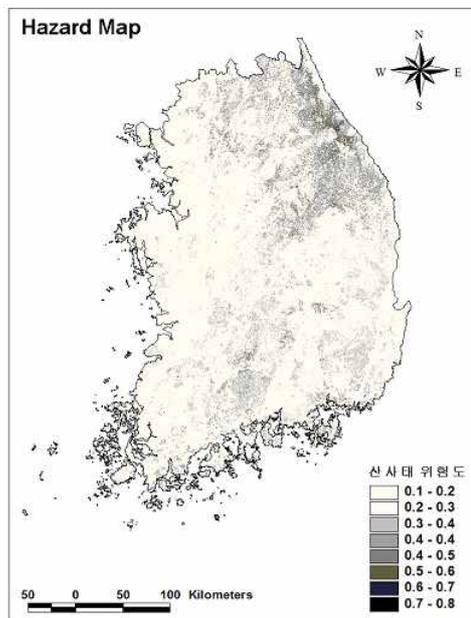


그림 9. 윤홍식 등(2009)의 산사태 위험도

표 4. 윤홍식 등(2009)의 가중치

산사태 유발 요소	가중치	표준화된 가중치
강수량	1.0	0.2083
표고	0.5	0.1042
경사각	2.0	0.4167
경사방향	0.3	0.0625
토양	1.0	0.2083

본 연구의 시스템은 오픈소스 소프트웨어로 구성됨으로써 시스템의 확장성이 우수하여 산사태 위험도 분

석뿐만 아니라 래스터 데이터와 지도대수를 이용한 다른 분야의 분석에도 라이선스 비용의 부담 없이 경제적 으로 활용될 수 있다. 중첩분석을 이용하는 적지 분석 및 최적경로선정 등이 그 예가 될 수 있을 것이다. 본 연구는 응용 사례로 산사태 분석을 시범적으로 수행하였으며, 적절한 산사태 유발 요소 데이터가 추가되면 분석 결과의 신뢰도가 보다 향상될 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 웹상에서 공간 정보의 분석이 가능한 시스템을 구축하였다. GRASS 기반의 웹 분석 시스템은 지리정보 데이터 처리에 기본이 되는 지도대수 및 중첩기능을 기본으로 구축하였고, 데이터 중첩분석의 핵심인 가중치 부여는 복잡한 문제에 대한 합리적 의사 결정을 지원하는 AHP로 구현하였다. 소프트웨어의 수정 및 확장이 자유로운 공개 GIS 소프트웨어인 GRASS를 사용하여 웹과 연동하였으며, 공개 GIS 소프트웨어를 이용한 웹에서의 지리정보 분석의 가능성을 알아보기 위한 예시로 지도대수 연산을 구현하였다. 따라서 웹과 GRASS의 연동을 통해 지도대수 뿐만 아니라 다른 다양한 GIS 분석이 가능하다는 것은 시스템의 기술적 확장성을 의미한다.

본 연구에서 개발한 웹 시스템은 사용자가 분석하고자 하는 래스터 파일의 업로드와 가중치 부여를 위한 파일의 업로드를 제외한 부분을 jar 파일과 JSP를 이용하여 사용자가 시스템을 사용하기에 최대한 간편하도록 구현되었다. 웹 시스템을 개발한 후, 지도대수와 AHP를 이용하여 많은 연구가 진행되는 산사태 위험도 분석을 시범적으로 구현하였다. 산사태 위험도 결과는 AHP 분석으로 도출된 가중치에 따라 기후(강수량)의 영향을 가장 많이 반영한다.

본 연구에서는 GRASS 기반의 웹 분석 시스템의 테스트를 위해 5가지 요소를 사용하였지만 기존 연구들에 의한 다양한 요소를 구축한다면 더 정확한 분석이 가능할 것이다. 그리고 AHP 분석을 위한 설문조사에서 실제 전문가를 대상으로 한다면 보다 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

1. 구자훈, 성금영, 2001, 토지이용계획의 용도별 적지분석에 있어서 퍼지이론 및 계층분석과정(AHP)의 활용:포항시 첨단연구단지의 사례분석을 중심으로, 한국지리정보학회지, 제4권, 1호, pp.34-46.
2. 김경태, 정성관, 박경훈, 오정학, 2005, GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가, 한국지리정보학회지, 제8권, 1호, pp.75-87.
3. 류주형, 이사로, 원중선, 2002, 인공신경망을 이용한 산사태 발생요인의 가중치 결정, 자원환경지질학회지, 제35권, 1호, pp.67-74.
4. 박기호, 1997, 웹 기반 지도대수 처리기에 관한 연구, 한국GIS학회지, 제5권, 2호, pp.147-160.
5. 박재국, 양인태, 김태환, 박형근, 2008, GIS를 이용한 산사태 위험지역 추출, 한국측량학회지, 제26권, 1호, pp.27-39.
6. 소방방재청, 2010, 여름철 산림재해(풍수해) 예방 복구 대책.
7. 신정엽, 홍일영, 2006, 오픈 환경에서 웹 기반 상호작용 방식의 GIS 시각화 방법 연구: 상용 GIS 시각화 솔루션과 SWF, SVG의 비교 분석적 고찰과 탐색, 지리교육논집, 제50권, pp.41-62.
8. 신형일, 전형섭, 양옥진, 조기성, 2000, 인공신경망을 이용한 실버타운 적지분석에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 제8권, 2호, pp.117-127.
9. 양인태, 천기선, 박재훈, 2006, GIS와 AHP를 이용한 산사태 취약지 결정 및 유발인자의 영향, 한국지형공간정보학회지, 제14권, 1호, pp.3-12.
10. 우충식, 윤호중, 이창우, 정용호, 2008, 항공사진을 이용한 산지토사재해 영향인자 분석, 한국환경복원녹화기술학회지, 제11권, 1호, pp.14-22.
11. 유복모, 2002, 디지털측량공학, 박영사, p.946.
12. 윤홍식, 이동하, 서용철, 2009, GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성, 한국지리정보학회지, 제12권, 4호, pp.59-73.
13. 이사로, 이명진, 원중선, 2005, 인공신경망을 이용한 강릉지역 산사태 취약성 분석 및 검증, 자원환경지질, 제38권, 1호, pp.33-43.
14. 이진덕, 이현화, 김성길, 2001, 도시지역의 토지이용 적지분석을 위한 지리정보시스템의 이용: 구미시를 중심으로, 한국지리정보학회지, 제4권, 4호, pp.29-38.
15. 이진덕, 연상호, 김성길, 이호찬, 2002, 산사태의 발생가능지 예측을 위한 GIS의 적용, 한국지리정보학회지, 제5권, 1호, pp.38-47.
16. 장동호, 박노옥, 지광훈, 김만규, 2004, GIS 기반 베이시안 예측모델을 이용한 보은지역의 산사태 취약성 분

- 석, 한국지형학회지, 제11권, 3호, pp.13-23.
17. 정보통신부, 2007, 오픈소스 SW 라이선스 가이드, 호정 씨앤피, pp.59.
 18. 천기선, 박재국, 2007, 산사태 취약지에서의 토지피복상태 변화 추적, 한국지형공간정보학회지, 제15권, 3호, pp.69-76.
 19. 한국정보통신기술협회, 2007, 표준 및 공개 소프트웨어 기반 GIS 구축 지침, pp.3-5.
 20. Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2005, The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology*, Vol.65, No.1-2, pp.15-31.
 21. Carrera-Hernandez, J.J. and Gaskin, S.J., 2006, The groundwater modeling tool for GRASS (GMTG): Open source groundwater flow modeling, *Computers & Geosciences*, Vol.32, No.3, pp.339-351.
 22. Chau, K.T., Sze, Y.L., Fung, M.K., Wong, W.Y., Fong, E.L. and Chan, L.C.P., 2004, Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS, *Computers & Geosciences*, Vol.30, No.4, pp.429-443.
 23. Li, X., Di, L., Han, W., Zhao, P. and Dadi, U., 2010, Sharing geoscience algorithms in a Web service-oriented environment (GRASS GIS example), *Computers & Geosciences*, Vol.36, No.8, pp.1060-1068.
 24. Neteler, M. and Mitasova, H., 2008, *Open Source GIS : A GRASS GIS Approach* 3rd edn. Springer.
 25. Pradhan, B., 2010, Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia, *Advances in Space Research*, Vol.45, No.10, pp.1244-1256.
 26. Thomas Bruns, H. and Egenhofer, J., 1997, User Interfaces for Map Algebra, *Journal of the Urban and Regional Information System Association*, Vol.9, No.1, pp.44-54.
 27. Tomlin, C. D., 1990, *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.