GIS와 GIS수문학의 소개

김 철 (호남대학교 토목공학과 교수)

1. 서 론

GIS(Geographic Information System)는 지리정보시스템, 지형정보시스템, 지형공간정보시스템 등으로 사용되고 있다. GIS의 기원은 대략 컴퓨터 지도제작의 초기작업에서 유래하고 있지만 오늘날 GIS가 이용되는 영역은 자동화된 지도생성보다 훨씬 광범위하다.

컴퓨터가 지도제작에 응용되기 전까지는 지리정보는 종이나 필름에 기록되었다. 기초적인 지리정보는 여러 가지의 색깔, 문자 등을 사용하여 시각적으로 표현되며 범례를 통하여 설명되고 있다. 또한 지도의 공간은 제한되어 있기 때문에 범례에 관한 자세한 정보는 따로 보고서의 형태로 정리되기도 한다. 1960년대 이래 자원 및 토지의 평가, 계획 등의 분야에서 정보처리의 새로운 경향이 나타났다. 지표의 서로 다른 측면을 나타내는 정보는 상호 관계에서 파악되어야 한다는 인식을 바탕으로 하여 통합적이고 학제적인 접근을 시도하기 시작하였으며 미국과 캐나다의 정부에서 일하던 몇몇 이론가들이 이와 같은 아이디어를 보완하고 컴퓨터를 사용하여 독립된 소프트웨어 기술에 대한 개념을 확립하였다. 1963년 H. T. Fisher는 SYMAP이라는 소프트웨어를 개발하였는데 이것은 자료의 분석이나 등치선(Isoline)을 만들어 내는 여러 가지 프로그램이 모듈 형태로 되어있었다. SYMAP은 최초의 컴퓨터 매핑시스템이라고 할 수 있으며 이를 시작으로 수많은 통계 매핑시스템이 개발되었다. 현재 사용되고 있는 컴퓨터 매핑시스템들은 매우 다양한 포맷과 광범위한 심볼 및 인쇄체 글꼴(Fonts) 등을 제공하고 예전에 사용하던 지도보다 더 훌륭한 품질의 출력을 제공하지만 그들은 자료검색, 분류 및 자동 심볼작성 등의 기능에 국한되어 있다. 그러므로 컴퓨터 매핑시스템은 공간정보를 다루는 방법이라기 보다는 수작업으로 해오던 지도제작의 전산화 내지 자동화라고 할 수 있다.

이와 같이 1960년대와 1970년대의 컴퓨터 매핑시스템의 발전은 지도의 정확성과 시각적 효과의 향상을 강조하는 기존 작업의 전산화였으나 공간분석(Spatial Analysis) 능력을 강조하는 새로운 경향이 나타나기 시작하였다. 지도 제작과 공간분석을 위해서 정보수집, 자료분석, 출력 등의 분야에서 컴퓨터를 사용하였으며 지적도, 지형도, 주제도의 제작, 공간적 변화에 대한 수학적 연구, 도시계획, 수도 · 전력 · 가스 · 전화 등 기간 시설의 네트워크 계획, 영상분석 등 여러 학문 분야에서 이 기술을 사용하였다. 이와 같이 각각의 분야에서 축적된 성과를 토대로 하여 인접한 분야에서 개발한 공간정보 처리기능의 상호 연계가 가능해지고 학문간의 기술적인 문제와 개념상의 문제를 극복함에 따라 오늘날 우리가 사용하고 있는 범용적인 GIS가 개발되었다. GIS는 지표상의 정보를 입력하고 저장하고 수정하는 단순한 작업과는 다르며 GIS의 자료는 시스템 내에서 상호 관련되어 접근, 변환, 관리되기 때문에 환경 변화의 분석, 경향분석 또는 의사결정과 그 결과의 예측 등에 사용될 수 있다.

GIS와 수문모형의 관계는 수문모형은 지표와 지하환경에서의 물과 그 구성성분의 흐름과 관련되어 있고 GIS는 지구의 공간적인 특성을 표현할 수 있으므로 이 둘 사이에 긴밀한 연관성이 있음은 명백하다.

수문모형은 시간 변화를 고려하는 모형이 많으므로 수백 내지 수천의 시간 단계를 가진 모형이 일반적인 반면 대상지역에 대한 공간 구성은 비교적 단순하다. 많은 수문모형이 대상 유역을 단일 공간 특성으로 가정하거나 공간 특성이 균일한 몇 개의 소유역으로 분할하고 있다.

GIS는 수문모형에서 필요로 하는 소유역의 수를 증가시키고 각 소유역의 특성을 더욱 자세하게 정의하는데 도움을 줌으로서 모형의 결과를 개선시킬 수 있다. 또한 GIS와 수문모형이 연계됨으로서 과거에는 어렵게 생각되었던 하나의 대륙 또는 전세계와 같은 대영역을 대상으로 하는 수문모형을 개발할 수 있게 되었다. 본고에서는 GIS 및 GIS와 수문모형이 관련된 형태인 GIS수문학에 대해 간단히 소개하였다.

2. GIS의 소개

1980년대 이후 전세계적으로 GIS라는 용어가 여러 분야에서 언급되고 있으며 미국의 국립과학재단(NSF : National Science Foundation)의 R. Alber는 과학의 발달사에서 현미경, 망원경, 컴퓨터의 개발이 미치는 것과 같은 영향을 GIS기술이 지형 분석에 이바지한다고 말할 정도이다. 사실상 우리가 일상생활에서 다루고 있는 정보의 많은 부분이 지형 및 공간과 관련된 지형정보, 공간정보라고 할 수 있으므로 이와같은 정보를 처리할 수 있는 GIS시스템의 개발과 연구가 전 세계적으로 여러 분야에서 활발히 이루어지고 있다. 본 장에서는 일반적인 GIS에 대해서 개략적으로 소개하였다.

2.1 GIS의 정의

GIS는 지도학 및 제도술, 컴퓨터 그래픽, CAD, 측지학 및 사진측량학, 공간분석, 통계, 원격탐사와 같은 여러 학문 분야에서 발전된 기술들이 통합되어 이루어진 것이며 사용자들도 산업체, 대학 및 정부 등 여러 그룹이 존재함으로 GIS의 정의도 이와 같은 점을 고려하여 정의되어야 할 것이다. 따라서 GIS를 정확하게 정의하는 것은 다양한 견해가 존재하기 때문에 어려운 문제이지만 대개 GIS는 컴퓨터 기술을 이용하여 표준적인 좌표체계를 통하여 각종 지리정보를 입력, 보완, 처리, 출력하는 정보관리시스템 또는 공간 자료의 획득, 저장, 검색, 분석 및 표시를 효과적으로 할 수 있도록 고안된 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 지리자료 및 인력의 조직적인 집합체라고 정의할 수 있으나 한마디로 요약하면 지표면의 장소를 나타내는 자료를 보관하고 이용하는 컴퓨터 시스템이라고 할 수 있다. GIS에서 가장 중요한 기본적 전제는 GIS는 실제로 새로운 정보를 생성하는 공간분석 및 공간중첩을 수행할 수 있는 능력을 가진 시스템이라는 점이다.

2.2 GIS의 구성요소

GIS는 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 데이터, 전문인력 및 방법론의 다섯 가지 주요 요소로 이루어지며 GIS가 훌륭한 기능을 발휘하기 위해서는 이 구성요소들이 서로 균형을 이루어야 한다.

2.2.1 컴퓨터 하드웨어

하드웨어는 GIS가 작동되는 컴퓨터를 말하며 중앙집중형의 서버로부터 개인용 데스크탑 컴퓨터에 이르기까지 다양한 종류의 컴퓨터가 사용될 수 있다.

2.2.2 소프트웨어

GIS에서 이용되는 소프트웨어는 일반적으로 자료의 입력과 수정, 자료의 저장과 데이타베이스관리, 자료의 출력, 자료의 변환 및 자료의 분석 등의 기능을 갖는다.

2.2.3 데이터

데이터는 GIS에서 가장 중요한 요소이다. 지형자료와 이에 관련된 속성 자료는 사용자가 스스로 수집하든지 상업적인 데이터 제공자로부터 구입할 수 있다. GIS는 지형자료를 DBMS와 같은 다른 데이터와 연결시켜서 통합적으로 사용할 수 있다.

2.3 자료구조

공간정보를 표현하는데는 두 가지 표현 방법이 있는데 래스터식 표현과 벡터식 표현이다. 래스터식 표현은 좌표에 의해 정의된 셀(cell)의 집합으로서 각 셀은 속성 값에 따라 독립적으로 변화한다. 벡터식 표현은 점, 선, 다각형의 세 가지가 있다. 점은 셀과 비슷하나 면적이 없다. 선과 다각형은 서로 연결되는 (x,y) 좌표의 집합이며 좌표는 주어진 속성과 연결시킬 수 있다.

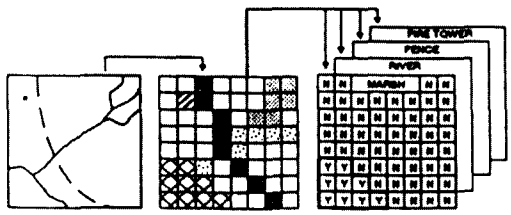

그림 1. 래스터식 자료구조

2.3.1 래스터식 자료구조

래스터식 자료구조의 가장 간단한 형태는 그리드(grid), 셀 또는 픽셀(pixel)로 구성된 배열(array, matrix, or lattice)이다. 각 셀은 행과 열의 값으로 참조되며 지도화되는 속성의 값이나 유형을 나타내는 수치를 가지고 있다.

래스터 구조에서 점은 하나의 셀로 표현된다. 또한 선은 한 방향으로 배열되어 인접하고 있는 셀들에 의해 표현되며, 면은 사방으로 인접하고 있는 셀의 집합으로 표현된다. 이 자료구조는 행과 열의 배열을 쉽게 저장하고 조작하고 표현할 수 있기 때문에 이 자료구조는 2차원 자료공간을 연속적인 것이 아니고 분할된 것으로 가정한다. 따라서, 표현되는 지형요소에 비하여 셀의 크기가 클 때 길이와 면적의 계산에 큰 영향을 준다. 래스터식 자료구조를 나타내는 간단한 예를 다음의 그림 1에 나타내었다.

2.3.2 벡터식 자료구조

공간자료를 나타내는데 있어 가장 보편적으로 널리 사용되고 있는 방법으로써 도로 수계와 같은 지형요소의 표현, 육지와 수역과 같은 서로 다른 지형요소간의 경계구분에 사용한다. 벡터식 표현의 목적은 지형요소를 가능한 한 정확하게 표현하는 데 있다. 좌표공간을 래스터 공간과 같이 분할된 것이 아니라 위치, 길이, 차원을 정확하게 표현할 수 있는 연속적인 것으로 가정한다. 벡터 데이타는 원하는 만큼의 정확도로 코드화 하는 것이 가능한데 그 정확도는 측량의 정확도와 같은 실제적인 데이터의 정확도에 따라 좌우된다. 벡터식 자료구조는 2.4절 자료모형에서 더욱 자세히 설명하였다.

2.3.3 벡터와 래스터의 비교

래스터나 벡터식 방법 모두가 공간을 표현하는데 합당한 정보구조이다. GIS의 상호 보완적인 요소로 벡터와 래스터를 결합한 공간정보 구조는 점차 그 중요성을 더해가고 있다. 표 1에 벡터와 래스터 자료를 비교하였다.

표 1. 벡터와 래스터 자료 비교

구 분	벡 터	래 스 터
장 점	- 현상적 자료구조를 표현할 수 있고 - 자료구조가 축약되어 있으며 - 네트워크 연계로 위상관계를 잘 구축할 수 있고 - 그래픽의 정확도가 높고 - 위치와 속성의 검색, 갱신 그리고 일반화가 가능하다	- 자료구조가 간단하고 - 지도중첩이나 원격탐사 자료와 연결시키기가 쉬우며 - 다양한 공간분석을 할 수 있고 - 공간단위가 같은 크기와 형태를 갖기 때문에 모의가 쉽고 - 기술자체가 비싸지 않으며 발달속도가 빠르다
단 점	- 자료구조가 복잡하고 - 지도중첩이 복잡하고 - 각 단위가 다른 위상 형태를 갖기 때문에 모의가 어렵고 - 표시 기기나 도화기가 비싸며 - 다각형 내의 공간분석이나 필터링은 불가능하다	- 그래픽 자료의 양이 많으며 - 자료를 줄이기 위해 셀을 크게 하면 현상적으로 파악할 수 있는 구조나 정보를 잃어버릴 가능성이 크며 - 출력의 질이 나쁘며 - 네트워크 연계를 구축하기 어렵고 - 특수한 알고리즘이나 하드웨어를 사용하지 않으면 투영변환에 많은 시간이 소요된다

2.3.4 수치고도 모델(DEM : Digital Elevation Model)

지형을 평면좌표 뿐만 아니라 고도를 포함한 3차원으로 표현하기 위하여 여러 가지 방법들이

개발되어 왔다. 공간상에 나타나는 연속적인 기복의 변화를 수치적으로 표현하는 방법을 수치고도 모델이라고 하며 수치지형모델(DTM :Digital Terrain Model)이라는 용어도 함께 사용된다. DTM에서 Terrain이라는 용어는 고도 뿐만 아니라 지표의 다른 속성도 포함하기 때문에 DTM은 포괄적인 의미로 사용되고 있고 고도에 관한 정보만을 다루는 경우는 DEM 이라는 용어가 주로 사용된다. 수치고도 모델은 원래 지형의 기복을 모델화하기 위해 개발되었지만 현재는 기복 뿐만 아니라 다른 속성들의 연속적인 변화를 나타내는데도 사용된다. 평면상의 위치를 (x,y) 좌표로 표현하기 때문에 고도 속성은 세 번째 차원, 즉 z좌표로 표현된다. 수치 고도 모델을 사용하여 지형을 나타내는 방법은 크게 수학적 기법과 이미지 기법으로 나눌 수 있다. 수학적 기법은 지표면을 수학적으로 표현할 때 연속적인 3차 함수를 사용하여 복잡한 형태를 평활하게 표현하는 것이다. 이미지 기법으로 지표면을 표현하는 방법은 선형 모델과 포인트 모델로 나눌 수 있으며 선형모델은 지형을 등고선으로 표현하는 것이다. 포인트 모델은 규칙적인 사각형 격자 배열로 이루어진 고도행렬을 사용하는 방법과 불규칙한 배열로 이루어진 삼각형 네트워크(TIN : Triangular Irregular Network)등을 사용하는 방법이 있다. TIN은 Peuker 등이 처음 발표한 수치고도 모델로서 델로니 삼각형(Delauney Triangulation)에 따라 불규칙하게 배치된 절점이나 관찰지점을 삼각기법에 따라 연속적인 삼각면으로 연결한 모델이다. 이 모델은 고도행렬에 비해 자료의 중복을 줄일 수 있으며 경사면 방향과 같은 여러 형태의 계산에 매우 효율적이다. TIN 모델은 벡터 위상 구조를 가지며

이 구조는 1980년대 들어서면서 많은 상업적 GIS에서 채택되고 있다.

2.4 자료 모형

2.4.1 기본적인 지도정보

GIS에서는 2가지의 기본적인 지도정보를 사용하는데 첫 번째는 공간정보로서 지형요소의 형태와 위치 및 다른 요소와의 공간적 관계를 나타내며 두 번째는 속성정보로서 지형요소에 대한 서술적인 정보를 나타낸다. 공간정보는 벡터 자료구조의 경우에는 3가지의 지형요소로서 표시할 수 있는데 점 요소, 선 요소, 다각형 요소이다. 점 요소는 그림 2(a)에 표시된 것처럼 면적이나 길이를 갖지 않는 한 쌍의 (x,y)좌표에 의해 나타낼 수 있는데 대개 점을 나타내는 특별한 심볼이 사용되고 있다. 우물이나 전주의 위치 등을 나타낼 때 점 요소가 사용된다. 선 요소는 그림 2(b)에 표시된 것처럼 면적은 없고 길이만 정의되는 일련의 (x,y)좌표의 집합에 의해 나타낼 수 있으며 도로, 하천이나 관망 등을 나타내는 데 사용된다. 다각형요소는 그림 2(c)에 표시된 것처럼 면적과 경계를 갖는 폐합된 영역을 나타내며 폐합된 일련의 (x,y)좌표의 집합으로 나타낼 수 있고 호수, 도 경계나 유역 등을 나타낼 때 사용된다. GIS에서 대부분의 주제도는 다각형을 사용하여 제작하기 때문에 다각형 요소는 매우 광범위하게 이용되고 있다.

2.4.2 지도자료의 보관

디지털 지도자료는 공간정보와 속성정보의 두 가지 정보로 이루어져 있는데 이 정보들은 컴퓨터 하드웨

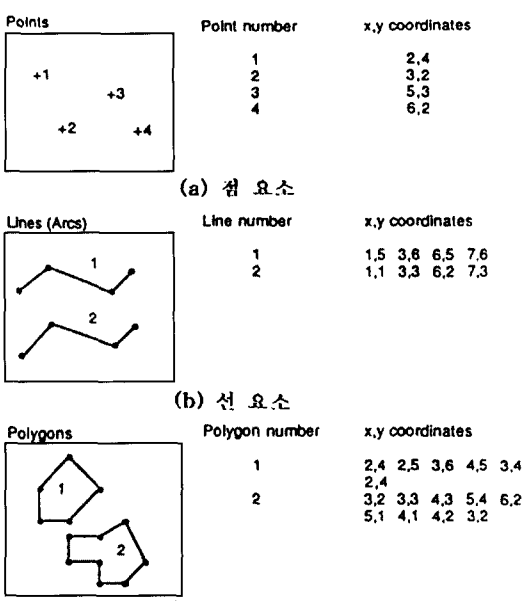

그림 2. 벡터 자료구조의 3가지 지형요소

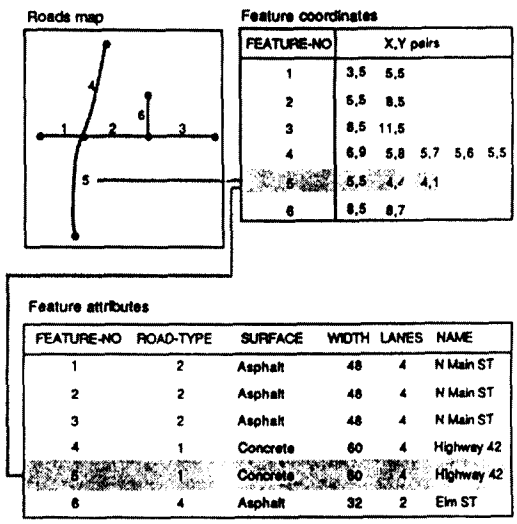

그림 3. 공간정보와 속성정보의 연결

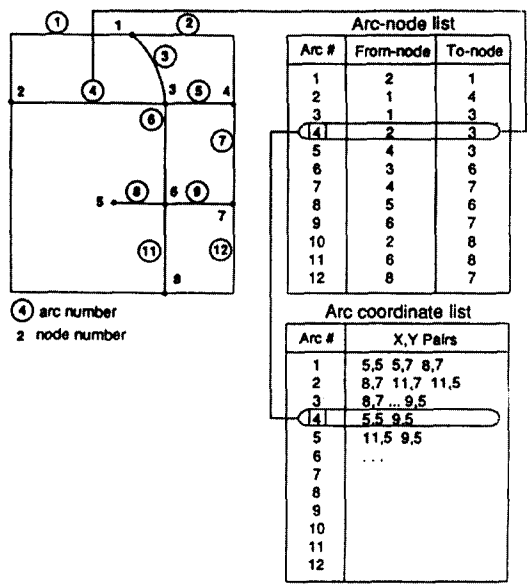

그림 4. 위상관계-연결성

어 상에 일련의 파일들로 저장되며 저장파일은 지도를 이루는 각 요소들에 대한 공간 및 속성정보를 포함하고 있다. 이 두가지 정보는 독립적으로 떨어진 파일들이 아니고 서로 연결되어 있으며 GIS는 이와 같은 공간 및 속성정보의 연결과 지도 속성들 간의 공간적인 관계를 유지시켜주는 시스템이므로 이 점이 CAD와 근본적으로 다른 점이다. 그림 3에 공간정보와 속성정보를 보관하는 방법이 표시되어 있는데 공간정보 내에서 하나의 레코드를 유일하게 구별짓는 key field에 의해 서로간의 파일을 연결시키고 있다.

2.4.3 위상관계(topology)

위상관계란 공간적인 관계를 명백히 정의하기 위한 수학적 과정이다. 지도에 있어서 위상관계는 요소들 사이의 연관관계를 정의하고 인접한 다각형을 정의하며 하나의 요소를 다른 요소의 집합으로써 정의할 수 있다. 위상관계를 생성하고 보관함으로써 많은 이득을 얻을 수 있는데 GIS가 분석기능을 갖는다는 것은 바로 자료가 위상관계를 갖고 있기 때문이다. 위상관계가 정의되면 관망에서의 흐름을 모델링한다거나 유사한 특성을 갖는 인접한 다각형끼리 서로 중첩시키는 분석기능을 수행할 수 있다. 보통 3가지의 위상관계가 다음과 같이 정의된다.

(1) 연결성(connectivity)

그림 4에 표시된 것처럼 하나의 선은 두 개의 좌표를 연결한 것인데 이때 시작점(from-node)과 끝점(to-node)을 정의하는 것이 연결성이다. 그림에서 arc 3, 4, 5, 6은 모두 node 3에서 만남으로 5번 arc를 따라가다가 3번 arc로 회전할 수 있으며 9번 arc로는 직접 연결되지 않는다는 사실을 컴퓨터는 알게된다.

(2) 면의 정의(area definition)

다각형은 폐합면을 나타내는 선들의 집합으로 나타낼 수 있다. 그림 5에 표시된 것처럼 4, 6, 7, 10, 8번 arc가 2번 다각형을 정의한다.

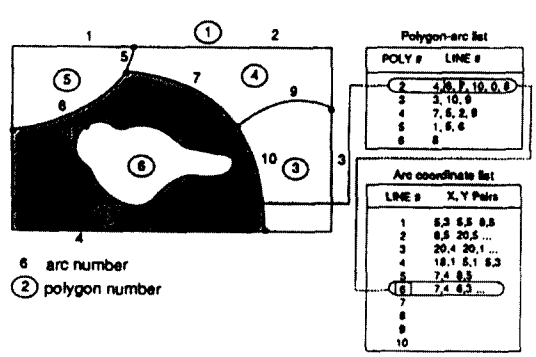

그림 5. 위상관계- 면의 정의

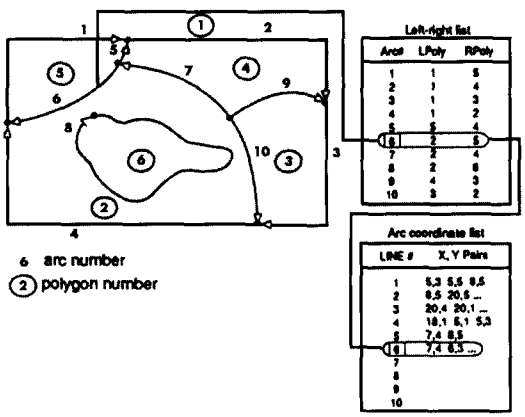

그림 6. 위상관계- 인접성

(3) 인접성(contiguity)

모든 arc는 연결성에서 서술한 것처럼 방향(from-node, to-node)을 가지고 있으므로 하나의 arc는 그 왼쪽과 오른쪽에 있는 다각형을 정의할 수 있다. 그러므로 공통의 arc를 가진 다각형들은 서로 인접해 있다는 것이 입접성이다. 그림 6에 표시된 것처럼 6번 arc의 왼쪽에 2번 다각형이 있고 오른쪽에 5번 다각형이 있다. 따라서 2번과 5번 다각형은 서로 인접해 있다.

2.5 GIS의 기능

2.5.1 자료의 입력과 수정

GIS의 데이터베이스를 구축하기 위한 데이타(Digital Data)는 다음과 같은 방법들을 사용하여 취득할 수 있다.

(1) CAD 시스템

(2) 디지타이징(Digitizing), 스캐닝(Scanning) 또는 Coordinate Geometry System(측량 데이터나 항측 데이터, 원격탐사 자료를 직접 입력)

(3) 영상처리 시스템(Image Processing System)

(4) 데이터베이스 관리시스템(Data Base Management System)

(5) 문서처리 시스템(Word Processing System)

(6) 비디오(Video) 및 레이저(Laser) 영상 시스템

2.5.2 자료의 변환

(1) 래스터화(Vector to Raster)

(2) 백터화(Raster to Vector)

(3) 그리드(Grid) 자료를 (x,y) 좌표 값으로 변환하거나 역으로 변환

2.5.3 자료의 분석

(1) 지도 중첩 및 분할 : 기존지도에서 새로운 지도 작성을 위한 데이터의 추출 및 통계 분석 기능

(2) 측정 : 점의 위치, 선의 길이, 면적 및 주변경계의 길이 및 체적계산

(3) 수치고도 분석(Terrain Analysis) : 3차원 분석

(4) 평면 등고선 분석(Isoline Map)

(5) Network Analysis : 교통분석, 파이프라인 최단거리 결정, 운송량 배정 등

(6) Isometric Model : 3차원 입체 형상

3. GIS 수문학

GIS 의 중요한 특징이 지리정보와 속성정보가 서로 연결되어 어느 한쪽의 자료가 수정되면 다른쪽의 자료도 자동적으로 수정된다는 점이라고 하였다. 이와 같이 GIS는 공간 및 속성 정보 양쪽을 선택, 조작하고 분석 할 수 있는 능력을 가지고 있으므로 강력한 공간 분석의 도구로서 사용되고 있다. 한편 거의 모든 수자원자료가 공간과 관련되어 있으므로 GIS는 전통적인 데이타 구조 보다 훨씬 훌륭한 데이타 모델을 제공해 주고 있다. GIS는 수문학적 모형에서 사용되는 유역특성을 수치적으로 나타낼 수 있도록 지원하며 지표면 자료를 지형자료 및 지리좌표와 관련된 다양한 속성정보와 연결한다. 수문학 시스템내에서의 속성정보는 토양, 토지이용, 토지피복, 지하수 조건 및 인공적인 구조물 등이 될 수 있다.

GIS의 수문학적 응용은 수문학적 경향의 합성과 특성화로부터 수문학적 사건에 대한 반응의 예측에 이르기 까지 다양하다. 수문모형에서 가장 제약을 많이 받는 요소는 흐름의 환경을 정확하게 기술할 수 있는 모형의 매개변수를 결정하는 것이다. 이와 같은 매개변수는 지형을 나타내는 자료로부터 특히 래스터

GIS를 이용하여 추출할 수 있다. 과거에는 특정 지역에 대한 지형자료는 취득하기가 어렵고 매우 많은 비용이 소요되었으나 최근 수문모형을 지원하는 일반적인 공간자료를 이용할 수 있는 방법이 많아지고 있다. Internet과 CD-ROM을 통해서 DEM, 토양, 토지이용 및 기후자료 등을 저가 및 무료로 얻을 수 있는 기회가 많아짐으로써 수문학에 유용한 형태로 자료를 처리하는 방법이 여러 가지로 개발되고 있다. 미국의 경우는 지질조사국(USGS), 환경청(EPA), 미육군공병단(HEC), 국립기후자료센터(NCDC), 국립해양대기국(NOAA), 농무성(USDA) 등과 각 주에서는 GIS 수문모형에서 필요로 하는 각종 자료를 Internet을 통해 무료로 서비스하고 있다. 본 절에서는 GIS수문학에서 사용되는 6가지의 기본 자료구조를 서술하였으며 GIS와 관련된 수문 모형의 형태로서 수문학적 평가, 수문 매개변수 결정, GIS내의 수문모형, GIS와 수문모형의 연결 등 4가지로 분류하고 이에 대해 간단하게 서술하였다.

3.1 6가지의 기본 자료구조

GIS 수문학에서 지표면과 지하를 나타내는데 6가지의 기본 자료구조가 사용되고 있다. 이 자료구조들은 흐름의 모형에서 오랫동안 기본 자료구조로써 사용되어 오고 있으므로 이들 자료구조가 수문학에서 차지하는 의미를 알아본다.

3.1.1 점(Points, Nodes)

GIS에서 하나의 점은 차원을 가지지 않은 가장 단순한 지형 특성을 나타낸다. 점이 가진 단 하나의 공간적인 특징은 위치를 나타낸다는 점이다. 수문학에서는 점은 우물, 홍수 출구점 및 점오염원 등을 나타낸다. GIS내에서 점은 다각형의 속성을 나타내는 위치로 사용되며 다각형 내의 어느 곳에나 위치할 수 있다. 수문학에서 총괄 모형은 지형 특성을 한 점으로 나타내며 그 점에 유역이나 하천망과 같은 지표특성을 나타내는 속성 값을 부가시킨다. 이 경우 점들의 연결성이 중요한데 그 이유는 연결 방법에 따라 계산순서가 달라지기 때문이다.

3.1.2 선(Lines, Arc)

GIS에서 선은 한 점에서 시작하여 순차적으로 점을 연결하는 선 요소의 집합을 말한다. 수문학에서도 똑같은 개념으로 관이나 하천이 여러 개의 구간으로 나눠질 수 있는 선 요소의 집합으로 생각할 수 있다. 선을 따라서 흐르는 흐름과 수송은 분산과정(distributed process)이다. 즉, 이것은 선을 따르는 거리의 함수와 관을 흐르는 유체 및 구성요소들의 운동을 서술하는 미분방정식으로서 정의될 수 있음을 의미한다.

3.1.3 다각형(Polygon)

GIS에서 다각형은 일련의 연속된 선들의 집합이다. 수문학에서 다각형은 유역, 대수층과 같은 흐름의 영역을 나타낸다든지 토양분류와 같이 공간적으로 변화하는 양을 표시하는데 사용되고 있다. 다각형 내에서 수문과정의 공간적인 변화는 그리드나 TIN구조에 의해 표시됨으로 데이터 구조로서의 다각형은 수문모형 자체의 기초를 나타낸다기 보다는 그리드나 TIN과 같은 데이터구조의 경계를 나타내는 경우가 많다.

3.1.4 그리드(Grids)

그리드는 GIS에서 점들로 사각형 격자를 만들고 그들을 선으로 연결함으로써 하나의 영역을 사각형 형태의 소영역으로 분할함으로써 만들 수 있다. 그리드 구조는 래스터 GIS 시스템에서 분석의 기초가 되며 벡터 GIS시스템에서는 지표면의 지형을 나타내는 훌륭한 수단이 되고 있다. 그와 같은 연구에서 사용되는 격자화된 지표면 자료를 DEM이라고 부른다. 수문모형에서 그리드는 평면 2차원 흐름에 대한 유한차분식을 나타내는데 사용될 수 있는데 특히 지하환경은 명백히 정의되지 않기 때문에 사각형 형태의 격자로 근사시킨 값을 사용할 수 있으므로 지하수 유동모형에 더욱 적합하다고 할 수 있다. 유한차분법과 같은 수문모형을 GIS와 통합하는 가장 논리적인 방법은 수문모형의 형태를 바꾸지 않고 GIS의 하부 모형으로 연결시키는 것이다. DEM을 이용해서 지표면의 수문특성을 추출하는 연구는 여러 사람에 의해 수행되었

으며 유역의 분할, 흐름망의 추출, 하도경사, 유역 평균경사 및 유로장 등의 유용한 매개변수를 추출할 수 있다.

3.1.5 TIN

TIN은 일련의 불규칙한 (x,y)점들로부터 만들어진 삼각형 격자이다. 수문모형에서 삼각형 격자는 흐름이나 수송모형에 대한 유한요소 해법의 기본격자로 사용되고 있다. GIS의 TIN자료와 FEM의 삼각형 격자 사이의 연관 관계는 FEM이 GIS의 TIN자료를 이용하여 해석할 수 있는 직접적인 연관관계가 있다. TIN은 또한 그림 7에 표시된 것처럼 유역분할과 흐름망 추출을 위해 사용될 수 있으며 지표수 유속과 침식율을 예측하기 위해서도 사용될 수 있다.

3.1.6 Networks

Network은 GIS에서 마지막으로 완성된 자료구조이며 수문모형에서도 유용하다. GIS에서 Network 모형은 교통흐름 연구에 초점을 맞추고 있다. 수문모형에서의 적용사례는 관망이나 하천망에서 흐름을 추적하는데 사용될 수 있는데 특히 도시에서의 나뭇가지 모양으로 복잡한 우수관망의 흐름 해석에 이용할 수 있다. 관의 출구에 대한 배수면적을 나타내는 다각형 커버리지, 관의 출구를 나타내는 점 커버리지 및 배수관망을 나타내는 선 커버리지를 사용하여 유량은 관망의 상류에서 하류로 가면서 점차적으로 계산될 수 있다. 비슷한 계산과정을 이용하면 우수관망에서의 비점원 오염량도 계산할 수 있다.

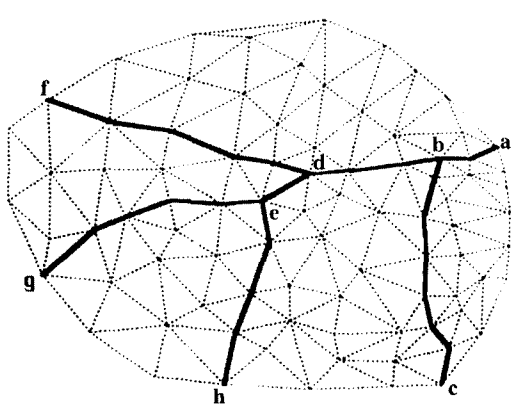

그림 7. 유역의 TIN모형과 흐름망

3.2 GIS와 관련된 수문모형의 형태

GIS와 수문모형이 관련된 형태는 수문학적 평가(hydrologic assessment), 수문 매개변수 결정, GIS 내의 수문모형, GIS와 수문모형의 연결 등으로 분류할 수 있다.

3.2.1 수문학적 평가

수문학적 평가는 어떤 상황에 대한 수문모형 요소들을 GIS에서 도화하는 것으로써 위험도평가(risk assesment)의 수단으로 많이 이용된다. 이와 같은 모형의 예로서는 하나의 오염원이 어느 지점에 놓여있을 때 지하수가 오염될 수 있는 상대적 가능성을 평가하는데 이용되는 지하수 오염가능성 지도, 홍수 자료 및 그에 따른 피해 자료로부터 작성한 상습침수구역도 및 홍수재해지도와 같은 것들이다. 이러한 형태의 모형은 어떤 물리적인 법칙을 이용하는 것이 아니고 여러 가지 요소들의 영향을 범례로 만들어서 그림으로 도시하는 것이다.

3.2.2 수문 매개변수 결정

수문 매개변수 결정은 현재 GIS수문학에서 가장 활발한 연구분야로서 지형 및 지표면의 특성을 분석함으로써 수문모형에 대한 매개변수를 결정하는 방법이다. 현재 수문모형에 가장 제약을 주는 요소는 수문과정을 수학적으로 특성화하는 능력이나 특성화된 식을 푸는 것이 아니라 흐름의 환경을 정확하게 나타내는 모형의 매개변수의 값을 정의하는 능력이라고 생각된다. 따라서 유역의 지표면 경사, 유로장, 토지이용 및 토양특성 등의 매개변수를 정확히 결정할 수 있으면 수문모형을 사용하여 좀더 정확한 값을 예측할 수 있을 것이다. 이와 같은 매개변수들은 래스터GIS와 벡터 GIS를 사용하여 지형자료로부터 추출될 수 있다.

지형을 표현하는 방법은 3가지가 있는데 이들은 그리드, TIN 및 등고선이다. 등고선은 GIS 커버리지에

서 가장 일반적으로 지형을 표현하는 형태이지만 공간분석을 수행하기 위해서는 그리드나 TIN의 형태로 자료가 변환되어야 한다. 그리드 자료는 DEM을 이용하여 직접 입력할 수 있는데 미국 지질조사국의 홈페이지에는 전세계에 대한 30″ DEM 자료에 대한 설명이 있으며 ftp를 이용하여 언제든지 다운로드 받아 사용할 수 있다. TIN 자료는 측량 자료를 직접 입력하여 얻을 수도 있다. 일단 그리드나 TIN 자료가 얻어지면 이 자료들을 이용하여 유역 경계를 분할하고 강이나 하천과 같은 흐름망을 추출할 수 있다. DEM으로부터 유역경계를 분할하는 방법은 8방향 유출 모형을 사용하는데 이 모형에서는 그림 8(a)에 표시된 것처럼 각각의 셀(cell)이 인접한 8개의 셀 중에서 최급경사를 가진 셀과 연결되는 알고리즘을 사용하고 있다. 그림 8(b)와 같은 고도 그리드가 주어진 지역에 대해서는 이와 같은 알고리즘을 사용하여 각각의 셀마다 그림 8(c)와 같이 흐름의 방향이 결정되고 이로부터 그림 8(d)와 같은 흐름방향 누계(flow accumulation 그리드)를 얻을 수 있는데 이 그리드는 주어진 셀의 상류에 있는 셀의 숫자를 나타낸다. 이 숫자가 주어진 한계 값보다 큰 셀 들을 연결하면 흐름망을 추출할 수 있으며 유역은 유역의 축구점에 있는 하나의 셀을 통해 유출하는 모든 셀 들의 집합으로 정의된다. 이렇게 분할된 유역과 흐름망에 대한 특성 값들이 수문모형의 입력자료로 사용될 수 있다. 이런 형태의 모형의 예를들면 총괄 매개변수를 사용하는 강우-유출 모형과 GIS와의 관련 연구의 대부분이 이에 해당된다. 가장 널리 알려진 HEC-1과 TR-55 모형에 대한 입력 매개변수를 작성하는데 GIS가 응용되는 많은 연구 결과가 있다.

3.2.3 GIS내의 수문모형

GIS시스템 내에서 직접 수문모형을 구축할 수 있는데 이와 같은 경우를 GIS내의 수문모형으로 분류할 수 있으며 자료의 입력과 관리, 수문분석 및 결과의 도형표시 등의 모든 기능이 GIS내에서 이루어지는 모형이다. 이 모형은 GIS가 가지고 있는 고유한 모형작성 능력을 이용하는 것으로써 그림 9에 표시된 것처럼 자료의 변환과정이 필요 없다. 사용자는 GIS 및 수문모형과 직접 상호 작용할 수 있는데 이와 같은 모형을 구축하기 위해서는 기존의 GIS의 소스 프로그램을 수정해서 수문모형을 소스코드에 추가하는 방법과 매크로 언어를 이용해서 도형대수학(map algebra)계산을 연속적으로 수행하도록 하는 방법이 있다. 이 형태의 모형은 과거에는 모형의 변수들의 시간변화를 고려하지 않는 모형, 예를 들면 어떤 유역의 연평균 유량, 연평균 오염량, 최대 유량, 최대 오염량 등과 같이 시간에 따라 변화하지 않는 량을 변수로 사용하는 모형에 많이 이용되었다. 따라서 하천과 같은 1차원 및 호수, 조간대와 같은 2차원의 정상류 흐름에 적용할 수 있었다. 그러나 최근에는 객체지향(object-oriented) GIS 프로그램 언어의 발달로 변수들의 시간변화가 허용되는 모형이 사용되고 있다. 그러나 시간간격의 수가 늘어남에 따라 메모리의 한계가 있으므로 GIS 수문모형을 작성할 때 가장 먼저 할 일은 몇 가지의 변수가 사용될 것인지, 공간단위는 몇 개로 할 것인지와 시간간격의 숫자는 얼마로 할 것인지 등을 먼저 결정하는 일이다. GIS내의 수문모형의 예는 Mckinney 등(1993), Zichuan(1996) 이다.

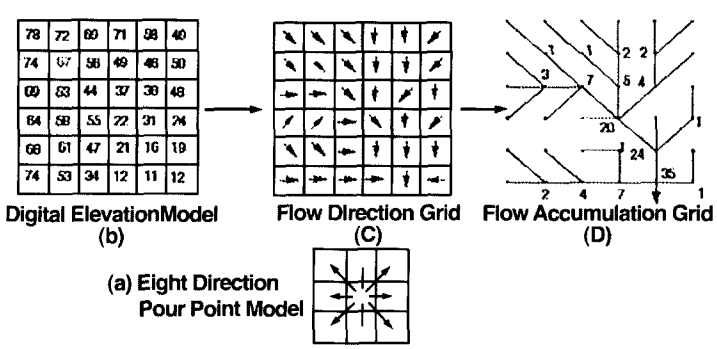

그림 8. 8방향 유출 모형

3.2.4 GIS와 수문모형의 연결

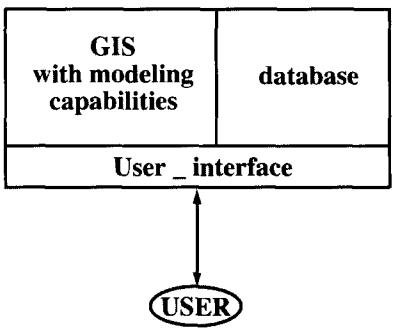

그림 9. GIS내의 수문모형

이 모형도 활발히 연구되고 있는 분야의 하나로써 특히 지하수 모형에서 많은 연구 결과가 있다. 2차원 유한요소 및 유한차분 프로그램 코드가 GIS와 연결되어서 유동의 계산에 대한 공간 입력자료를 만들고 수문모형에서 계산된 수두분포나 오염정도를 GIS에서 표시할 수 있다. 이들 모형은 공간적으로 분포되어 있으며 GIS내에서 흐름영역에 대한 위상관계의 표현에 크게 의존하고 있다. 이 모형의 예로서는 3차원 지하수 유동 모형인 MODFLOW에 대한 입력자료를 GIS의 소프트웨어의 하나인 Arc/Info를 사용하여 작성하고 모형의 출력 결과를 Arc/Info의 커버리지로 변환해주는 ARCMOD(Van Metre : 1990)를 들 수 있다. 이와 같은 모형은 그림 10에 표시된 것처럼 GIS와 수문모형은 서로 독립적이고 연결 프로그램이 이 둘 사이를 연결시켜주는 역할을 하는데 연결 프로그램은 대개 GIS에서 생성된 자료를 수문모형의 자료에 맞도록 변환시켜주고 역으로 수문모형에서 계산된 결과를 GIS에서 표시할 수 있도록 변환시켜 주는 역할을 한다.

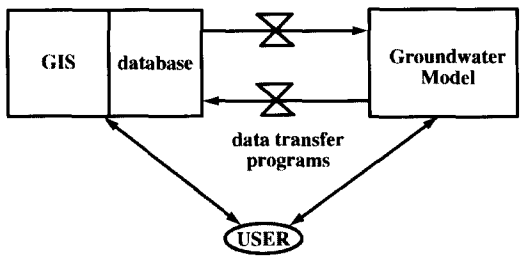

그림 10. GIS와 수문모형의 연결

4. 결 론

수문모형은 지표와 지하 환경에서의 물과 그 구성성분의 흐름과 관련되어 있고 GIS는 지구의 공간적인 특성을 표현할 수 있으므로 이 둘 사이에 긴밀한 연관성이 있음을 알 수 있다. 따라서 GIS는 여러 가지의 다양한 수문학적 응용에 효과적으로 사용되고 있다. 그러나 GIS를 수행하는 비용이 많이 소요되며 그중에서도 특히 데이터의 수집 및 조작 비용이 많이 소요된다. 최근에는 Internet과 CD-ROM을 통해서 수문모형을 지원하는 일반적인 공간자료, 즉 DEM, 토양, 토지이용 및 기후자료 등을 저가 및 무료로 얻을 수 있는 기회가 많아짐으로써 수문학에 유용한 형태로 자료를 이용하는 방법이 여러 가지로 개발되고 있다. 본 고에서는 GIS의 일반론에 대해 간단히 소개하였으며 GIS 수문모형에서 사용되는 6가지의 기본 자료구조를 서술하였고 수문 모형이 GIS와 관련되어 연구되고 있는 분야를 수문학적 평가, 수문 매개변수 결정, GIS내의 수문모형, GIS와 수문모형의 연결 등 4가지로 분류하고 이에 대해 간단하게 서술하였다.

〈참고문헌〉

De Vantier, B. A, Feldman, A. D. (1993) "Review of GIS Application in Hydrologic Modeling" J.W.R.P.M., ASCE, Vol. 119, No.2, pp.246-261

ESRI, Understanding GIS, the Arc/Info Method, Redlands, CA

Maidment, D. R. (1993), Developing a Spatially Distributed Unit Hydrograph by Using GIS, in HydroGIS 93, ed. by K. Kovar and H.P. Nachtnebel, Int. Assn. Sci. Hydrol. Publ. No. 211, pp 181-192.

McKinney, D. C., and Tsai, H.-L. (1993) "Solving groundwater problems using multigrid methods in a grid-cell based GIS." 2nd NCGIA Int. Symp./Workshop on GIS and Envir. Modeling,

Breckenridge, Colo.
Van Metre, P. C. (1990). "Structure and application of an interface program between a geographic information system and a ground-water flow model." U.S. Geological Survey Open-File Rep. 90-165, Tucson, Ariz.
Watkins, D. W., D. C. McKinney, D. R. Maidment, and Min-Der Lin. (1996) "Use of Geographic Information Systems in Ground-Water Flow Modeling." Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 122, No. 2, pp. 88-96.
Zichuan, Y. (1996). Map-based surface and subsurface flow simulation models: An object-oriented and GIS approach. Doctoral dissertation in Civil Eng., UT Austin, Austin, TX.

속담속의 물

물 먹은 배만 튀긴다

내용이나 실속은 없으면서 겉으로만 아는 체함

물 밖에 난 고기

자기능력을 제대로 발휘할 수 없는 처지에 물러난 사람