

컴퓨터 그래픽스를 이용한 지리정보시스템의 구성과 설계기법

金洸埴* · 崔潤哲**

*성균관대학교

**연세대학교

(1987년 2월 20일 받음; 1987년 2월 28일 수리)

Organization and Design Techniques of Geographic Information System Using Computer Graphics

Kwang Sik Kim* and Yun Chul Choy**

*Sung Kyun Kwan University

**Yonsei University

(Received February 20, 1987; Accepted February 28, 1987)

Abstract

The main purpose of this paper is to review and develop design techniques with respect to geographic information system (GIS) using computer graphics. The geographic information system is a system designed to capture, store, manipulate, retrieve and display various data about geographic locations and spatial characteristics. In order to perform this research, a significant literature review was conducted and various design techniques of GIS based upon computer graphics were discussed.

I. 서 론

컴퓨터는 그 특성상 수많은 데이터를 출력한다. 아무리 우수한 자료분석자라 할지라도 많은 양의 데이터를 한꺼번에 읽고 어떤 현상을 한 눈에 파악하기란 매우 어려운 일이다. 그러나 컴퓨터는 출력데이터를 도형, 그래프, 그림형식으로 표현함으로써 인간이 이해하고 이용하기에 편리한 형태로 바꾸어 줄 수 있다. 이것을 가능하게 해 주는 것이 컴퓨터 그래픽스 기술이다. 과거에는 그래픽스를 위한 하드웨어가 고가였고 소프트웨어도 부족하여 그 이용이 특수한 분야에만 제한

되었으나 최근 몇 년 동안 하드웨어의 가격이 크게 하락하였고 또 다양한 그래픽스 소프트웨어가 개발됨에 따라 보다 광범위한 분야에 활용되기 시작하였다.^{6),17)} 이러한 추세로 나간다면 앞으로 컴퓨터 그래픽스의 응용분야는 더욱 확대되고 이용자 수도 급증하여 컴퓨터 그래픽스는 컴퓨터 응용의 가장 중요한 위치를 차지할 것으로 전망된다. 그 한 예로 컴퓨터 이용설계(Computer Aided Design : CAD) 분야를 들 수 있는데 CAD는 컴퓨터 그래픽스 기술의 가장 획기적인 응용 분야로서 선진국은 물론 국내에서도 기계, 전자회로, 자동차설계를 비롯하여 건물, 공장, 토목 공사의 설계에 이르기까지 산업체에서 매우 활발히 이용되고 있다.^{1),17)}

이러한 추세에도 불구하고 지리정보 시스템(Geographic Information System : GIS)에서의 컴퓨터 그래픽스의 이용은 미흡한감이 없지 않다. GIS는 지리 및 지형에 관련된 정보를 컴퓨터 입력장치, 예를 들면 제수기, 키보드, 패턴인식기, 스캐너 등을 이용하여 수집한 후 컴퓨터를 이용하여 저장, 처리, 검색하여 사용자가 원하는 형태로 출력할 수 있도록 설계된 시스템을 말한다. 이 때 출력방식은 플로터, 그래픽스 디스플레이 장치, 라인 프린터 등의 출력장치를 이용하여 그래픽스 형태로 표현한다. GIS가 이용되는 분야는 도시계획, 토지이용, 교통공학, 환경연구, 천연자원의 관리, 산림연구, 지도제작, 마케팅연구, 입지 선정, 사회조사 연구, 인구 통계분석, 군사작전 등 매우 다양하다.^{14),33)}

최근 선진국의 GIS 전문가들에 의하면 상기 응용분야에서 계획, 정책수립, 현황파악, 통제 등을 수행하는 데 GIS가 필수적인 도구로 인식되고 있다.^{13),15),23),31),33),35)} 따라서 선진국에서는 이미 1960년대 초기부터 이 분야에 많은 기초연구와 GIS패키지 개발에 노력해 왔고 현재 매우 효과적으로 활용하고 있다. 즉, 미국에서는 1960년대 초부터 Harvard 대학 Computer Graphics and Spatial Analysis 연구소를 중심으로 contour map, proximal map 및 conformant map을 그릴 수 있는 SYMAP개발을 시초로 그 후 ODYSSEY로 발전시켰다.^{14),30)} 미국 조사통계국은 1970년대부터 도로망과 구역지도를 그리기 위하여 DIME시스템을 개발해 왔으며 미국 지질 조사 연구소는 1970년대 후반부터 지형 및 하천 데이터를 디스플레이 할 수 있는 STANDARD 시스템을 개발하고 있다.³⁴⁾ 이 외에도 미국방성 후원하에 개발되고 있는 ECS와 SACARTS 시스템과 도시계획, 입지선정, 네트워크 분야에 이용하기 위하여 IBM사가 개발한 GADS 등 수많은 GIS가 계속 개발, 활용 중에 있다.^{8),12),25),32)}

캐나다에서도 1960년대 초부터 세계최초의 GIS라 할 수 있는 CGIS를 개발하여 토지이용, 산림연구, 천연자원 관리 등의 분야에서 활발히 이용하고 있다. CGIS는 다양한 그래픽스 기능을 보강하여 1980년대 들어서면서 CLDS 시스템으로 발전하였다.¹⁹⁾ 일본에서 개발하고 있는 대표적인 GIS 시스템으로는 1970년경부터 도시계획, 환경연구, 인구분석 분야 등에서 이용할 수 있는 ALIS 시스템을 들 수 있다.¹⁸⁾ 이 시스템은 문부성, 지방행정기관, 기업체 등의 지원하에 동경대학 등 6개 대학의 공동연구 사업으로 시작되어 현재 최첨단의 GIS 시스템으로 발전하였다. 최근 16-비트 마이크로 컴퓨터에서도 이용할 수 있는 Micro-ALIS가 개발되었다.

그 밖에도 영국, 서독, 스웨덴 등에서 1960년대 후반기부터 다양한 GIS 패키지 개발을 추진해 오고 있다. 이러한 연구개발의 특징은 GIS 시스템이 매우 장기간에 걸쳐 점진적으로 기능

이 축적되었다는 것과 대부분의 경우 정부기관, 정부관련 기업체 등의 적극적인 후원하에 대학 및 연구소에서 개발해 오고 있다는 사실이다. 또한, 과거에는 패키지의 대부분이 대형 또는 중형 컴퓨터 환경 하에서 실현되었다. 그러나 최근 마이크로 컴퓨터의 성능이 향상되고 그래픽스 기기의 가격이 하락됨에 따라 이제 마이크로 컴퓨터에서도 GIS 시스템이 개발되기에 이르렀다. 그 대표적인 예로 일본의 Micro-ALIS와 아직 완전한 GIS라 볼 수는 없으나 최근 미국에서 개발된 MAPIT, POLYMAPS, MAP-MASTER, Randmap, AtlasAMP 등을 들 수 있다.^{18), 26)}

선진국들의 이러한 연구 노력에 비하여 국내에는 아직까지 이렇다 할 GIS 시스템의 개발연구가 매우 부족한 형편이다. 최근 도시계획 및 교통공학 분야에서 컴퓨터 그래픽스의 필요성과 GIS에의 응용가능성을 소개한 논문이 발표되었으며^{3), 4), 5)} KAIST에서는 원격탐사 자료를 이용한 국토정보관리 시스템을 개발한 바 있다.⁶⁾

II. 지형 정보 시스템의 구성

앞에서 언급한 바와 같이 GIS는 지리 또는 지형과 관련된 데이터를 수집(capture), 저장(store), 처리(manipulate)하여 디스플레이(display)할 수 있도록 설계된 시스템을 의미한다. 따라서 GIS의 데이터는 그래픽스 형태의 출력을 비롯하여 도표형식의 통계보고서로 표현될 수 있으며 통계 모델, 예측 모델, 시뮬레이션 모델의 입력자료로서 이용되기도 한다. 그러나 최신의 GIS에 있어서 최상의 출력방식은 그래픽스이고 이러한 출력방식을 중점적으로 지원하는 시스템을 컴퓨터이용 카토그래피(computer-aided cartography)라 부른다.^{21), 29)} 따라서 GIS는 컴퓨터에 의한 그림이나 지도로 표현하는 방안이 강구되어야 한다.

GIS 시스템은 그림 1에서 보듯이 다음의 세 가지 구성요소(subsystem)로 이루어져 있다.

1. 데이터 수집 시스템(Data Entry Subsystem)

GIS는 다양하고 많은 양의 데이터 입력을 요구하는데, 이들 데이터의 종류를 크게 지형적 데이터, 주제별 데이터, 그리고 원격탐사 데이터의 세 가지로 분류할 수 있다. 즉, 지형적 데이터(cartographic database)는 지도, 지형, 지역, 도로, 하천 등을 나타내는 데이터로서 이것은 계수기(digitizer), 그래픽 입력판(graphics tablet), 그래픽스 주사기(graphics scanner)를 이용하여 입력된다. 이에 비하여 주제별 데이터베이스(thematic database)는 교통량, 인구분포, 마케팅 현황, 공해발생 등과 같이 각 지역별로 어떤 속성의 분포와 상태를 의미하는데, 이러한 데이터는 주로 키보드(keyboard)를 이용하여 입력한다.

원격탐사 데이터는 LANDSAT이나 ITOS와 같은 인공위성으로부터 얻어진 지형, 지세에 관한 디지털 데이터를 포함하며 이 경우 다중 스펙트럴 주사기(multispectral scanner)나 고해상

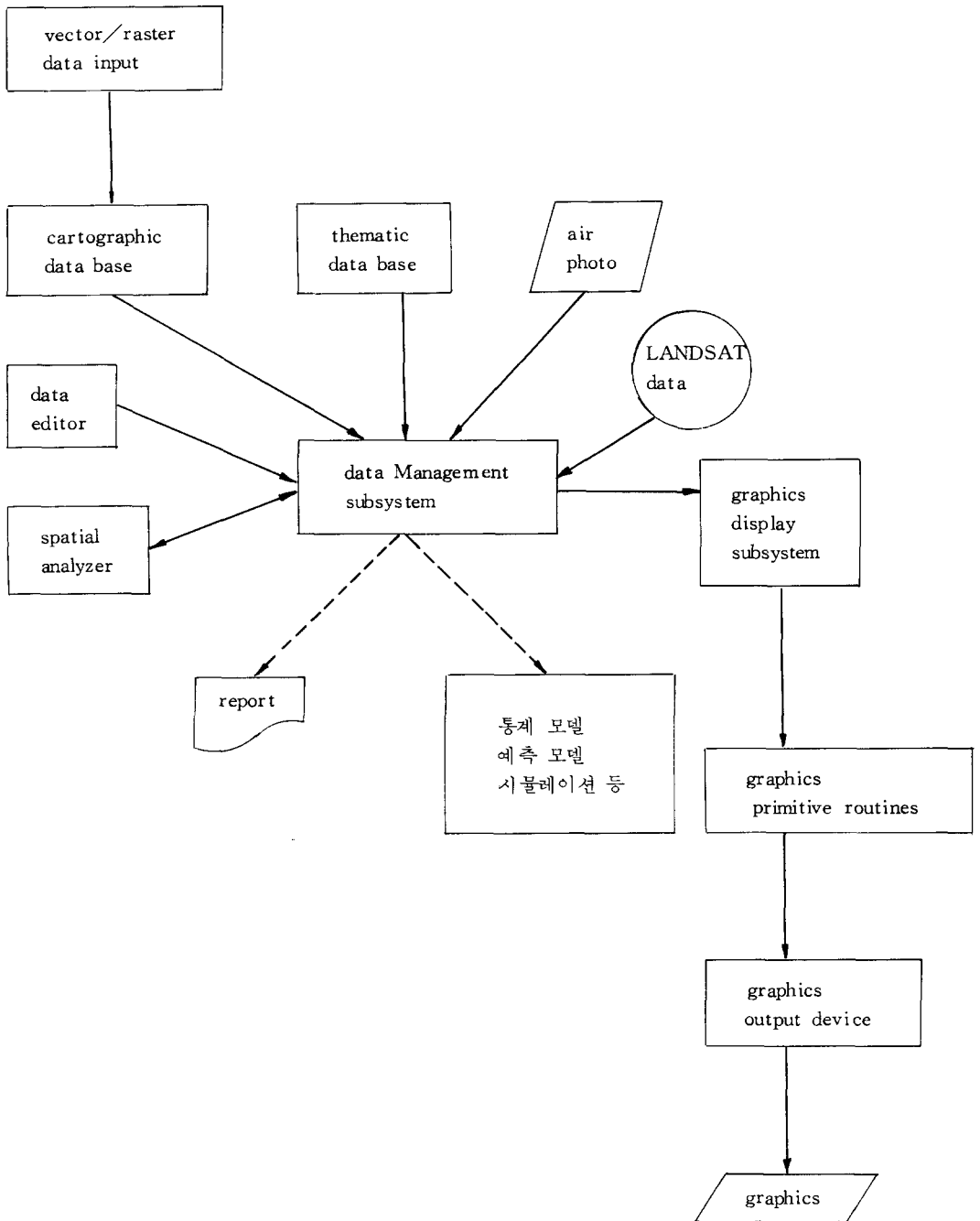


그림 1. GIS 시스템의 구성도.

도의 TV 카메라 장치가 지형정보를 얻기 위하여 이용된다. 지형에 반사되어 되돌아 오는 아날로그 신호는 우선 디지털 데이터로 변환된다. 이 때 감지기(sensor)의 스펙트럴 윈도우(spectral window)에 기록되는 픽셀 어레이(pixel array)는 영상 복원(image restoration), 영상 향상(image enhancement), 영상 여과(image filtering) 과정을 거치거나 영상처리기법에 의하여 변환(transformation) 된다.

2. 데이터 관리 시스템(Data Management Subsystem) 및 공간 분석기(Spatial Analyzer)

데이터 수집 시스템에 의하여 입력된 자료는 그래픽스 응용을 잘 지원할 수 있도록 데이터 구조가 조직되어야 한다. 이 시스템은 데이터의 검색, 처리, 갱신, 디스플레이 등을 효율적으로 수행할 수 있어야 하는데, 데이터 관리 시스템은 바로 이러한 기능을 담당한다. 공간분석기는 점, 선, 지역 등의 지리적 실체 간의 기하학적 특성 및 관계를 계산, 처리하는 역할을 담당한다.

3. 데이터 디스플레이 시스템(Data Display Subsystem)

디스플레이 시스템은 데이터 관리 시스템에 의하여 저장된 데이터를 분석자가 원하는 형태의 그래픽스로 출력하는 역할을 수행한다. CRT 디스플레이 장치는 출력결과를 일시적으로 화면에 나타내어 이를 즉시 이용할 때 적절한 출력장치이다. CRT 디스플레이를 이용하면 사용자가 대화식(interactive)으로 그래픽스를 생성, 변경할 수 있어 CRT 디스플레이는 시스템에 있어서 기본적인 출력장치이다. 출력결과를 영구히 보존하기 위해서는 하드 카피(hard copy)를 출력할 수 있는 플로터(plotter), 라인프린터(line printer), 필름 기록기(film recorder) 등의 장치가 필요하다.

Ⅲ. 지형 정보 시스템의 설계 기법

GIS 시스템의 설계기법을 좀더 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

1. GIS 응용 분야에 요구되는 그래픽스 기능의 분석 및 설계

GIS의 이용은 앞서 말한 바와 같이 도시계획, 토지이용, 교통공학, 환경연구, 지도제작, 마케팅연구, 입지선정, 천연자원의 관리, 산림연구, 사회조사연구, 인구분포 등 매우 광범위한 분야를 포함하고 있다. 따라서 각 응용분야마다 독특하게 요구되는 그래픽스 기능들이 존재하므로 cartographic system에 어떠한 기능 등을 포함시킬 것인지 분석하여야 한다.

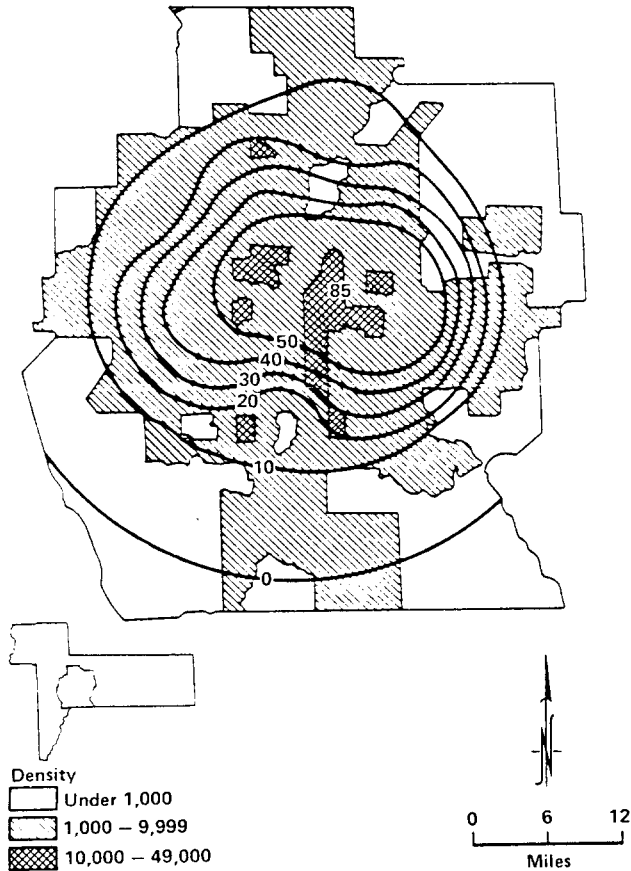


그림 2. 인구밀도와 후두염 발생 분포도.

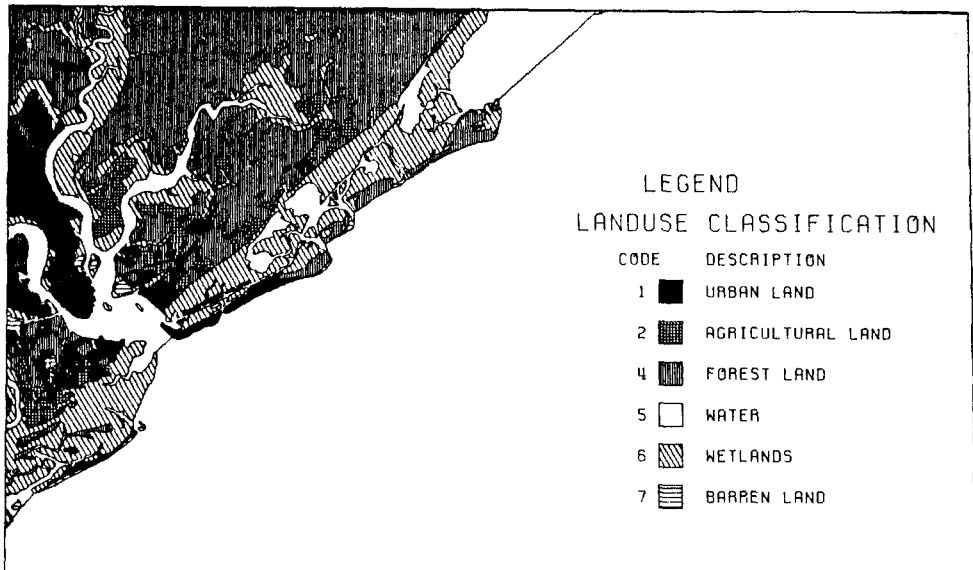
GIS의 몇 가지 응용 예가 그림 2에서 그림 6까지 나타나 있다. 그림 2는 어떤 도시의 지역별 인구밀도와 일산화탄소(CO)로 인한 후두염 발병빈도를 등고선(contour map)으로 표시한 것이며, 그림 3은 어떤 지역의 토지 이용을 도시, 농업, 산림, 습지 등으로 구분하여 나타내 주고 있다. 그림 4는 미국 Montana, Idaho, Wyoming주 국립산림지역내 각 지역(Wilderness tract)의 생태학적 효용가치(ecological index), 즉 산림, 조류, 동물 등의 분포자료로부터 지역의 효용성을 나타낸 것이다. 원(circle)의 크기는 지역의 크기를 표현한 것이고 짙은 원일수록 생태학적 효용가치가 높음을 의미한다. 이 그래프는 자연의 보존과 개발이라는 상반된 목표 간의 trade-off 분석에 이용할 수 있다. 그림 5는 서울시의 인구분포를 2차원과 3차원 그래픽스로 나타낸 것이며, 그림 6은 상품의 지역별 고객분포현황을 나타낸 것이다. 이들 그림은 공간상

의 분포특성을 컴퓨터 그래픽스를 이용하여 지도상에 나타낸 것으로서 분석대상을 쉽사리 이해하고 평가하는 데 도움을 주고 있다.

한편, GIS 그래픽스 디스플레이 시스템은 기하구조를 구성하는 점, 선, 지역간의 관계를 구하는 계산 알고리즘과 기하구조를 표현하는 데 요구되는 그래픽스 처리기능을 제공해야 한다. 이러한 기능들 중 대표적인 것을 나열하면 다음과 같다.

- 기하 구조의 구성요소인 점, 선, 지역을 그리는 기능.
- 하천, 도로, 철도 등의 네트워크를 그리는 기능.
- 지역을 사선이나 심볼로 채우는 기능(polygon filling).
- 지역의 면적(vector cross-product algorithm 적용)과 지역의 중심(trapezoidal algorithm 적용) 그리고 둘레(perimeter)를 구하는 기능^{23),24),27)}
- 지역내에 완전히 내포되어 있는 지역(island)의 처리 기능.
- 여러 개의 지역을 단일 지역으로 통합하는 기능(area aggregation).
- 어떤 속성(attribute)을 의미하는 심볼을 컴퓨터 내에 저장하였다가 scalar information의 크기에 따라 확대 / 축소하여 지정된 위치에 나타내는 기능.

LANDUSE MAP OF JAMES ISLAND QUAD



U. S. C. COMPUTER SERVICES, GRAPHICS SECTION

COMPUTER GENERATED MAP

PLOT WITHIN MAP WINDOW ENLARGED TO SHOW DETAIL

그림 3. 토지 이용도.

- 어떤 점이 주어진 선상에 또는 주어진 다각형 내에 존재하는지 여부(plumb-line algorithm 적용)를 판단하는 기능.⁷⁾
- 두 선의 교차점을 구하는 기능.
- 두 지역의 합집합(union)과 교집합(intersection)을 구하는 기능.
- 등고선 지도(contour map)를 그리는 기능.²⁰⁾
- Nominal information 또는 label(예 : 지역이름, 하천이름 등)을 주어진 위치에 나타내는 기능. 이 때 디스플레이 되는 label의 경사(slope)와 크기(size)는 조정될 수 있어야 한다.
- 그림 5와 같은 3차원 그림을 그리는 기능(예 : 등고선 지도의 3-D 투시도).
- vector data와 raster data간의 상호 변환(conversion) 기능.

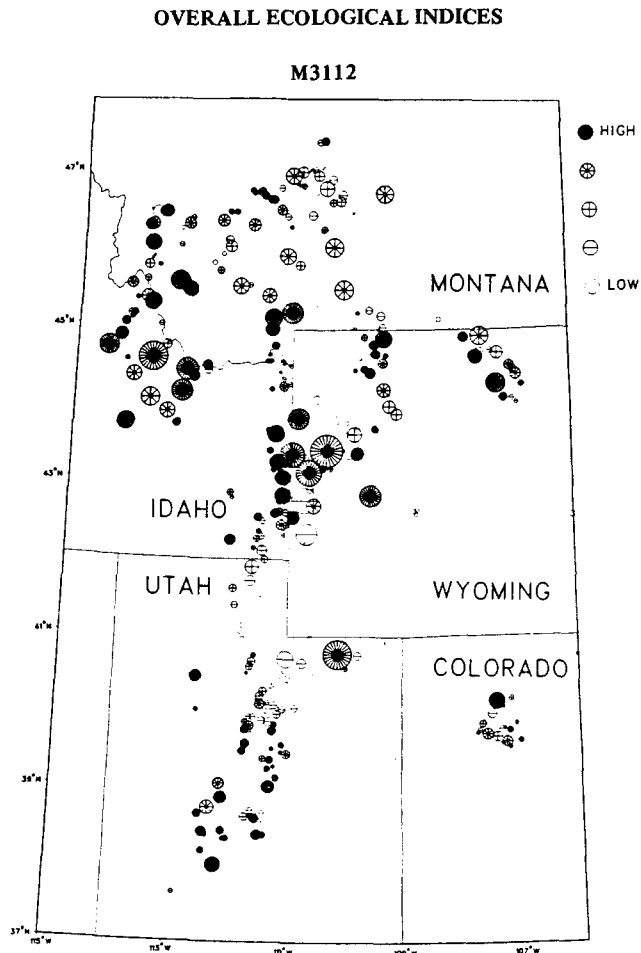


그림 4. 지역별 생태학적 효용가치 분포도.

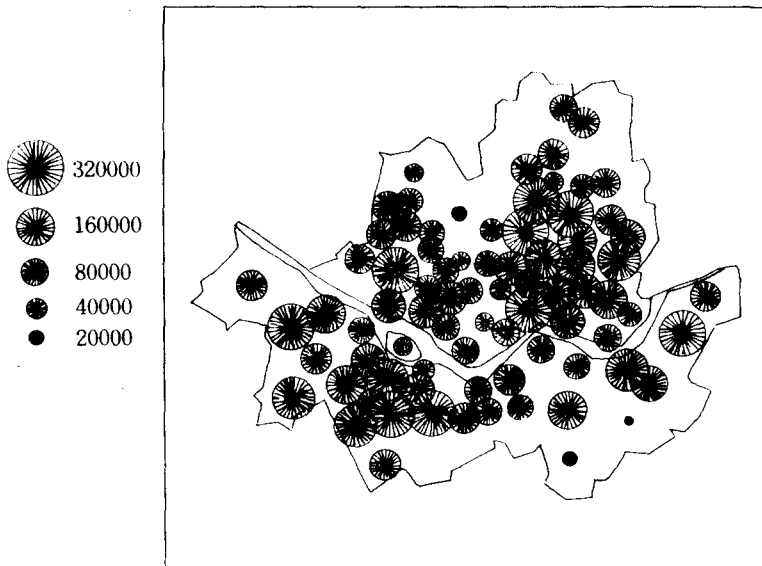
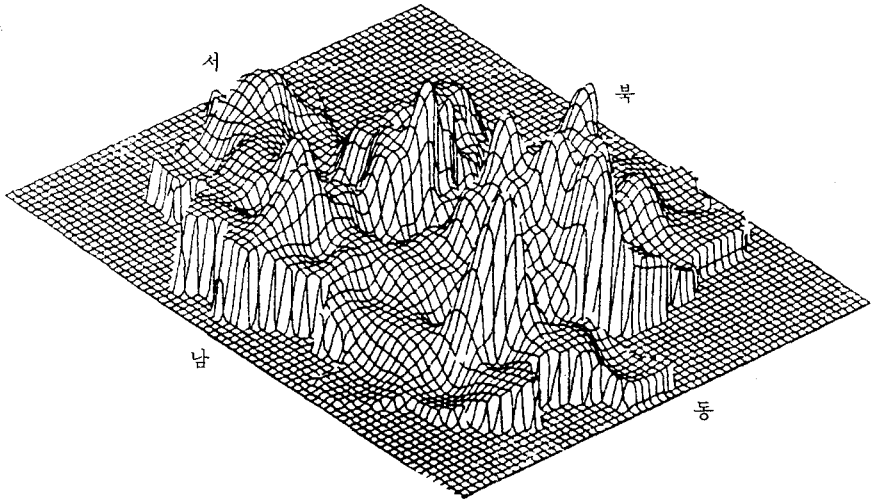


그림 5. 서울시 인구밀도 및 인구분포도.

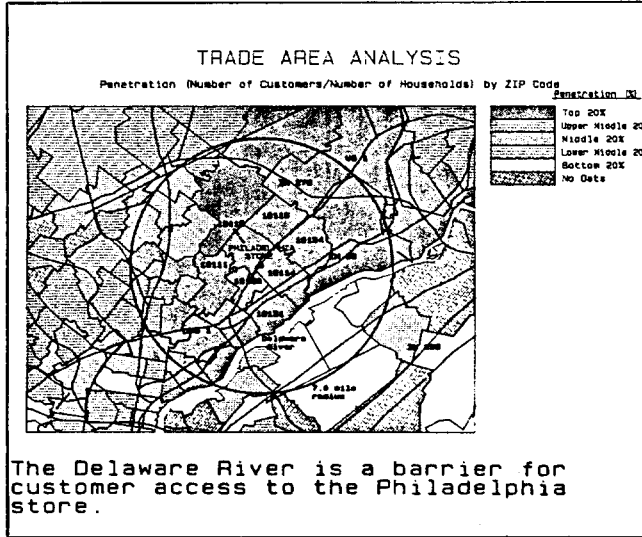


그림 6. 지역별 고객 분포도.

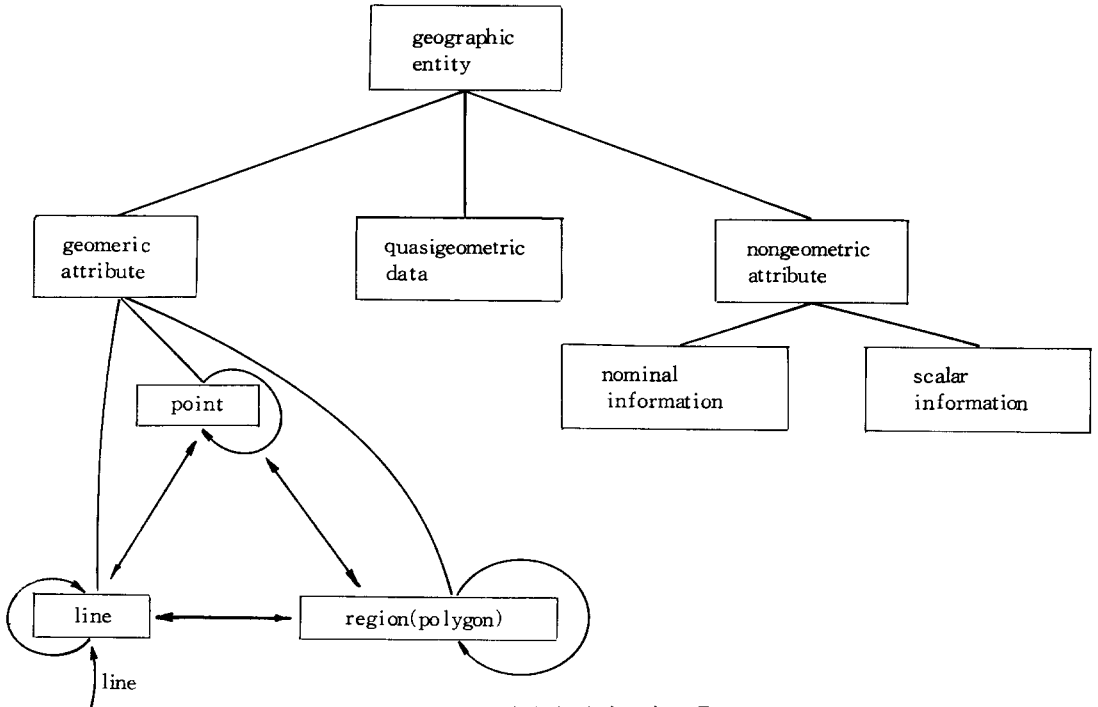


그림 7. 지리적 데이터의 종류.

2. 기본 그래픽스 루틴(Primitive Graphics Routines)

그림 1에서 보듯이 GIS의 그래픽스 기능은 하부에서 점, 선, 원, 호 등을 지정된 위치에 그리는 기본적인 작업을 수행하는 루틴들의 지원에 의하여 수행된다. 모든 복잡한 그림은 이와 같이 기본적인 간단한 구성요소들로 이루어져 있다고 볼 수 있다. 이 외에도 picture segment의 회전(rotation), 확대/축소(scaling), 이동(translation) 등과 같이 기하학적으로 변화시키는 기능과 어떤 그림의 한 부분만을 디스플레이 장치의 화면(viewport)이라 불리는 지정된 직사각형 내에 사상(mapping) 시키는 기능(windowing algorithm 적용), 전체 그림이 디스플레이 장치에 표현될 수 없을 때 디스플레이 될 수 있는 부분을 구하는 기능(clipping algorithm 적용) 등이 그래픽스 패키지가 제공하는 기본 루틴들이다.^{17),23)}

3. 데이터구조 설계 및 Vector-Raster 변환 기법

GIS 시스템에서 처리하는 지리적 실체를 구성하는 데이터는 그림 7과 같이 구분해 볼 수 있다. 기하구조적 특성은 지리적 실체의 모양과 위치 등을 규정하는 데이터로서 점, 선, 지역(polygon) 등을 포함하며 quasigeometric data는 지역(region)간의 계층관계를 표현하는 데이터를 의미한다. 이러한 계층적관계(hierarchical relationships)를 표현하기 위하여는 불리안 대수(Boolean Algebra)를 적용할 수 있다.²¹⁾ 따라서 앞에서 언급한 지형적 데이터 베이스는 geometric attribute와 quasigeometric data를 포함한다.

지형적 데이터 베이스는 데이터의 접근, 삽입, 제거, 검색, 선별, 복사, 결합, 분리 등의 기본 조작이 용이하도록 조직되어야 한다.^{21),28)} 이러한 관점에서 지형적 데이터 베이스를 조직하는 방법으로 cellular(grid) 구조와 linked(chained list) 구조가 고려되어야 한다. 이 두 가지 데이터 구조는 모두 점, 선, 지역 등을 표현하기에 적합하다. 또한 각 데이터 구조가 도로, 도시, 산림분포 등 어떤 지리적 실체를 표현하기 위해서도 이용될 수 있다.



그림 8. 지형의 line segment에 의한 표현과 bit matrix에 의한 표현의 비교.

Linked 구조에서는 점을 (x, y) 좌표로 표현하고 선은 적절한 간격이 떨어진 선상의 좌표들의 chain으로 표현한다(그림 8(a)). Nominal attribute를 가진 지역은 chain들로 연결한 경계선으로 나타내고 scalar information을 가지는 지역은 등고선으로 표현한다. Linked 구조는 graphics tablet, pen plotter 등과 같은 입출력 장치와 동일한 방식으로 그래픽스를 처리한다. 매우 복잡한 지형그림을 제외하고는 linked 구조로 그림을 표현하는 것이 기억장소 이용측면에서 보다 효율적이다. 그러나 linked 구조를 이용하면 지형데이터를 처리하고 변경하기 위한 소프트웨어가 복잡해지는 단점이 있다.^{11),17),23)}

Cellular 구조에서는 그래픽스로 표현하려는 지역이 작은 크기의 수많은 cell(또는 grid)들로 나누어져 matrix(matrix of cells)를 구성하는데, 이 때 각 cell들을 위하여 기억장소가 마련된다(그림 8(b)). 각 cell에 해당하는 데이터(예 : 점이나 선의 존재 유무, scalar value 등) 값이 기억장소에 저장된다. 따라서 cellular 구조는 raster graphics terminal, raster scanner, raster plotter 등과 동일한 형식으로 그림을 처리한다. 그래픽스 소프트웨어내에서 cellular 구조의 데이터를 처리하는 것은 linked 구조보다 간단하다는 장점이 있으나²¹⁾ 비교적 간단한 지형을 이러한 방식으로 표현할 때는 기억장소의 낭비가 크다.^{17),23)} 기억장소를 절약하기 위하여 Freeman chain encoding 방법 또는 Hash coding 방법 등이 자주 이용된다.^{21),23)}

GIS 시스템은 vector식 입출력장치와 raster식 입출력장치를 동시에 수용하고 있으므로 line segment와 bit matrix 간에 효율적인 변환 알고리즘(conversion algorithm)을 이용하여 상호변환이 자유로워야 한다. 특히 하나의 그래픽스상에 여러 가지 attribute들을 중복 처리하여 표현할 때에는(즉, overlay operation) vector 형태의 데이터를 raster 데이터로 변환하는 것이 처리하기에 훨씬 용이하다.²¹⁾

4. 그래픽스 입출력장치의 I/O Drive Routine

마이크로 컴퓨터를 이용한 GIS 시스템은 일반적으로 그래픽스 입력판, 키보드 등의 입력장치와 raster graphics terminal, pen plotter, line plotter 등의 출력장치를 이용한다. 각 I/O 장치를 조작하는 drive routine들을 이용하여 그래픽스가 실제 작성된다. 앞에서 언급한 바와 같이 vector 방식의 장치와 raster 방식의 장치를 동시에 이용하기 위하여 그래픽스 패키지 상호간의 변환을 처리할 수 있는 능력이 있어야 한다.

5. 이용자 인터페이스(User Interface) 증진 기법

GIS 소프트웨어의 이용자는 다양한 분야의 전문가와 일반사용자를 망라하므로 사용하기에 편리하여야 한다. 따라서 이용자가 계층적 메뉴(hierarchical menu)에 따라 그래픽스 기능을 선택할 수 있도록 설계하고 또 이용자가 대화식(interactive)으로 그래픽스 기능을 수행할 수 있도록 설계되어야 한다.

6. 모듈화 설계 (Modular Design)

GIS 소프트웨어의 구성모듈들이 독립적으로 설계되어야 하고 모듈 간에 간단한 인터페이스가 존재하도록 설계하여야 한다. 이것을 소프트웨어 공학측면에서 볼 때 소프트웨어의 구조가 간단하게 되어 개발 및 유지가 용이하고 소프트웨어의 기능 확장이 가능하며 휴대성을 높일 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라, 장래에 다양한 그래픽스 입출력 장치를 GIS 시스템에 연결하여 이용할 수 있게 하기 위해서도 소프트웨어의 모듈화가 요청된다. 이상에서 본 GIS의 설계과정은 그림 9에 나타나 있다.

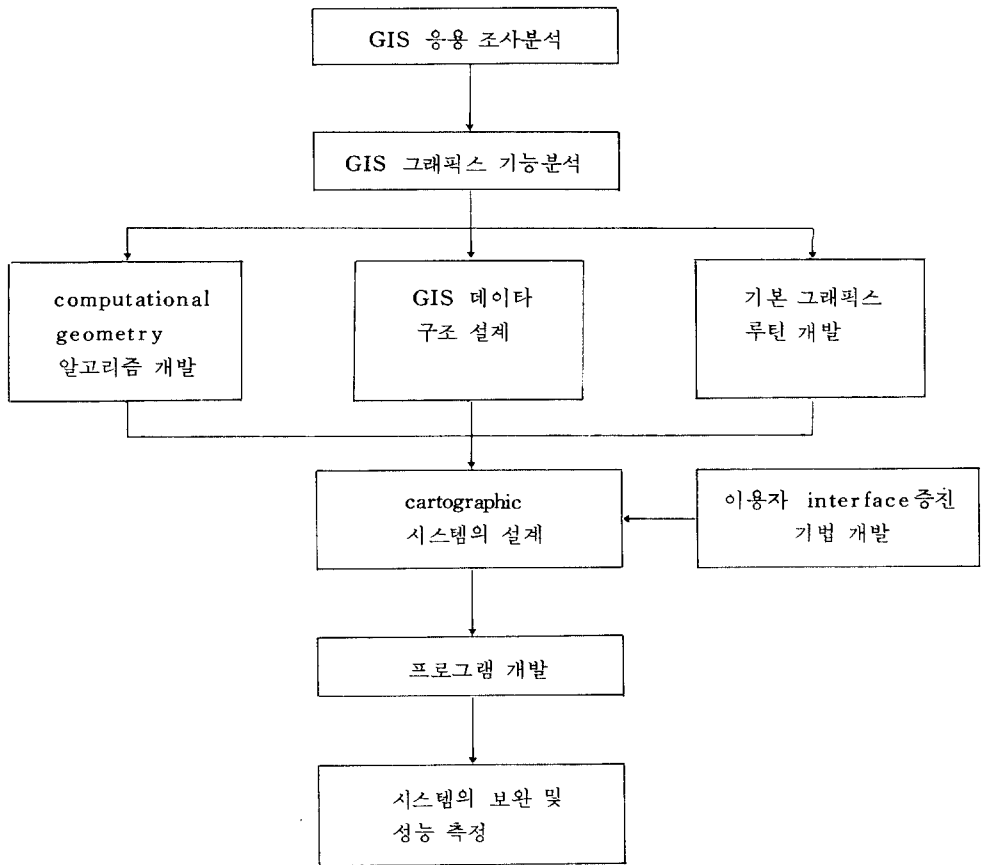


그림 9. GIS 설계 과정도.

IV. 결 론

GIS는 종래의 데이터처리 시스템과 유사점을 가지는 동시에 서로간의 상이점도 존재한다. 이들 두 시스템 모두 엄청난 양의 데이터를 처리해야 하고 데이터 요소 간에 복잡한 관계가 존재한다. 따라서 이들 분야는 최신의 데이터 베이스기법의 적용을 필요로 한다. 또한 이용자에게 효율적인 정보 검색을 지원하기 위하여 두 시스템은 대화식 사용자 인터페이스 기법을 자주 이용한다. 반면에, GIS만이 가지는 특성들도 존재한다. 무엇보다도 지리정보에서는 공간적 위치와 지리적 속성이 매우 중요한 역할을 담당한다. 기타 관련정보는 지리적 데이터 베이스에 연관되어 있기 때문에 지리적 데이터의 입력, 검색, 갱신, 처리, 출력을 효율적으로 수행할 수 있는 데이터 구조가 요구된다. GIS 그래픽스의 고유한 2차원적 특성은 데이터구조, 알고리즘 설계 및 입출력에 지대한 영향을 미친다. 따라서 GIS의 이러한 특성은 계산기하학, 오퍼레이션즈 리서치 및 영상처리 분야에 흥미로운 문제들을 야기 시킨다.

아직까지 지리 및 지형데이터를 처리하기 위한 충분한 기본 연산자는 존재하지 않으며, 또한 GIS는 특수한 입출력 장치를 필요로 한다. 최근 그래픽스 디지털타이저, 플로터, 그래픽스 디스플레이 장치들의 성능이 매우 향상되었고 그 가격도 하락하는 추세이다. 이에 반하여 많은 양의 지리적 자료 입력에 요인한 광학스캐너는 아직도 발전 단계에 있다. 원격탐사(remote sensing) 기술의 발전도 GIS에 많은 영향을 끼칠 것으로 기대된다. 결론적으로 1960년대 GIS의 가장 큰 비용은 하드웨어 장치가 차지하였으나 1970년대에는 소프트웨어 비용이 가장 큰 비중을 차지하게 되었다. 그러나 1980년대에는 지리적 자료 입력이 가장 중요한 문제로 대두되었고 이러한 추세는 당분간 지속될 것으로 전망된다.

참고문헌

- 1) 강행언·김연복, 1986, "국내건설업계의 CAD/CAE 운용현황," 대한토목학회지, Vol. 32, No. 2.
- 2) 과학기술처, 1986, "국토정보관리를 위한 원격탐사 응용기술 개발(I)," 한국과학기술원 시스템공학센터.
- 3) 김광식, 1985, "도시형태 측정기법과 그 적용에 관한 연구," 과학재단.
- 4) 김광식, 1986, "서울시 도시형태 측정에 관한 연구," 국토계획, 제 42권, 제 2호.
- 5) 김광식·최윤철, 1986, "교통연구에 있어서의 컴퓨터 그래픽스 응용에 관한 연구," 대한교통학회지, 제 4권, 제 2호.
- 6) 최윤철·송만석·이일병, 1987, "교양컴퓨터," 김영사.

- 7) Aldred, B., 1972, "Points in Polygon Algorithms," IBM Scientific Center, Petelee.
- 8) Ayers, L., 1974, "A Review of Cartographic Automation," Defense Mapping Agency, Aerospace Center, Washington D.C.
- 9) Baxter, R., 1976, "Computer Techniques for Planners," Nethuen.
- 10) Bergeron, R. et al., 1978, "Graphics Programming Using the Core System," Computing Survey, Vol. 10, No. 4.
- 11) Burton, W., 1977, "Representation of Many Sided Polygons and Polygonal Lines for Rapid Processing," Comm. ACM 20.
- 12) Carlson, E. et al., 1974, "The Design and Evaluation of an Interactive Geodata Analysis and Display System," IBM Research Laboratory, San Jose.
- 13) Ducker, K., 1979, "Land Resource Information Systems," Geo Processing, Vol. 1.
- 14) Dutton, G., 1977, "Navigating Odyssey," in Proc. Advanced Study Symposium, Topological Data Structures for Geographical Information Systems, Harvard Univ.
- 15) _____, ed., 1978, "Harvard Papers on Geographic Information Systems," Addison-Wesley.
- 16) Dutton, G. and W. Niesen, 1978, "The Expanding Realm of Computer Cartography," Data-mation, Vol.24, No.6.
- 17) Foley J. D. and A. Van Dam, 1984, "Interactive Computer Graphics," Addison-Wesley.
- 18) Kubo, S., 1984, "ALIS: A Geographical Information System for Urban Research," IEEE Computer Graphics and Applications.
- 19) MacDonald, C., 1985, "Applied Computer Graphics in a Geographic Information System," IEEE Computer Graphics and Application.
- 20) Merrill, R., 1973, "Representation of Contours and Regions for Efficient Computer Search," Comm. ACM 16, 2.
- 21) Monmonier, M., 1982, "Computer Assisted Cartography," Prentice-Hall.
- 22) Myers, W., 1985, "Computer Graphics: The Next 20 Years," IEEE Computer Graphics and Applications.
- 23) Nagy, G. and S. Wagle, 1979, "Geographic Data Processing," Computing Survey, Vol. 11, No. 2.
- 24) Nagy, G. and S. Wagle, 1980, "Computational Geometry and Geography," Professional Geographer, Vol. 32, No. 3.
- 25) Niemyer, G., 1978, "Dispatching by Graphical Terminals,," Computer Graphics, Vol. 11, No. 4.
- 26) PC Magazine, 1986, "Putting Your Business on the Map," Vol. 5, No. 16.
- 27) Peucker, T., 1979, "Computer Cartography and the Structure of Its Algorithms," World Cartography, Vol. 15.

- 28) _____, et al., 1975, "Cartographic Data Structure," American Cartographer, Vol. 2, No. 1.
- 29) Rhind, R., 1980, "The Nature of Computer-Assisted Cartography," Progress in Contemporary Cartography.
- 30) Schmidt, A. and W. Zafft, 1975, "Programs of the Harvard University Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis," in Display and Analysis of Spatial Data, J. Davis and M. McCullagh, John Wiley & Sons.
- 31) Steinitz, C. and H. Brown, 1981, "A Computer Modeling Approach to Managing Urban Expansion," Geo Processing, Vol. 3.
- 32) Struck, R., 1975, "Making a Map with Digital Data," Defense Mapping Agency, Topographic Center, 1975.
- 33) Teicholz, E., 1983, "Computer Graphics and Environmental Planning," Prentice-Hall.
- 34) Wagle, S., 1978, "Issues in the Design of a Geographical Data Processing System: A Case Study," Ph. D. Dissertation, Dept. of Computer Science, Univ. of Nebraska.
- 35) Wastesson, O. et al., 1977, "Computer Cartography in Sweden," Dept. of Geography, York University, Toronto.