

GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템 구축*

박찬규** · 이상욱*** · 박순달*** · 성기석**** · 진희채**

An implementation of network optimization system using GIS*

Chan-Kyoo Park** · Sang-Wook Lee*** · Soondal Park*** ·
Ki-Seok Sung**** · Heu-Chae Jin**

Abstract

By managing not only geographical information but also various kinds of attribute data, GIS presents useful information for decision-makings. Most of decision-making problems using GIS can be formulated into network-optimization problems. In this study, we deal with the implementation of network optimization system that extracts data from the database in GIS, solves a network optimization problem, and present optimal solutions through GIS' graphical user interface.

We design a network optimization system, and present some implementation techniques by showing a prototype of the network optimization system. Our network optimization system consists of three components: the interface module for user and GIS, the basic network optimization program module, the advanced network optimization program module. To handle large-scale networks, the program module including various techniques for large sparse networks is also considered. For the implementation of the network optimization system, we consider two approaches: the method using script languages supported by GIS, and the method using client tools of GIS. Finally, some execution results displayed by the prototype version of network optimization system are given.

1. 서 론

GIS(Geographic Information System, 지리정보

시스템)란 각종 지리 정보의 수집, 저장, 갱신, 분석, 표현을 수행할 수 있도록 설계된 컴퓨터 시스템을 의미한다. GIS는 1960년대의 등장 이래로

* 본 연구는 정보통신부 '98 대학기초연구지원사업(97-G-0683, C1-98-5183)의 지원을 받음.

** 한국전산원 정보화평가분석단

*** 서울대학교 산업공학과

**** 강릉대학교 산업공학과

1980년대에는 각종 지리정보 데이터베이스가 구축되고 선진국을 중심으로 의사결정 및 계획설정, 기존의 시스템과 연계가 시작되었으며 1990년대에는 3차원 의사결정 및 국토의 이용관리, 환경대책, 전략적 자원의 관리 및 요충지 설계 등에도 활용되고 있다([1, 7]). GIS의 선진국이라 할 수 있는 미국, 캐나다, 영국, 프랑스, 일본 등에서는 이미 지도 및 위치와 관련된 여러 가지 자원의 관리 및 의사결정을 상당부분 GIS에 의존하고 있는 상태이다([10]). 우리나라의 경우는 1995년부터 GIS가 활발히 보급되기 시작하였으며 현재 국토전체의 정보를 수치 지도화하는 사업을 추진 중에 있고 현재 국내 대부분의 지방자치단체 및 공공기관이 GIS 사업을 추진하고 있거나 계획하고 있고 그 예산 및 연구사업도 해마다 증가하고 있는 실정이다([7]).

GIS의 활용은 그 분석 방법에 따라 지역적 분석, 정량적 분석, 정성적 분석 등 크게 세 개의 분야로 나눌 수 있다([8, 9]). 지역적 분석은 일반적인 사회 분석, 지리학적 분석을 의미한다. 주요한 사용방법으로는 사용자로부터 주어지는 질의(query)에 대하여 지역 및 레이어(layer)간의 상호 교집합, 차집합, 합집합, 평면거리 등을 이용한 도면상의 일정 구역을 선정하거나 그 지역의 파급 효과를 분석하는 것을 말한다. 지역적 분석의 구체적인 예는 규제지역의 도시 및 지역간의 거리 측정 등을 들 수 있다([9, 11]). 또, 상수도 시설관리(facilities management) 분야에서 설치된 후 일정 연도 이상이 지난 노후관을 검색하는 것도 지역적 분석의 예이다([1]).

정량적 분석은 지리정보의 속성 데이터에 근거하여 단순한 검색이나 계산이 아닌 보다 복잡한 알고리즘 수행을 통해 사용자의 요구를 충족시키고자 하는 분석 방법이다. 예를 들어 첨단교통관리 시스템에서 최소 시간에 출발지에서 도착지까지 가는 경로를 구하는 문제([9])라든지, 항법 경로 설정, 위험시설계획([1])등을 위한 문제에 들어서면 바로 GIS의 정량적인 분석과정을 거치게 된다.

정성적 분석은 계량적 분석이 적합치 않은 응용

분야에서 정성적 판단 요소를 추가하여 의사결정을 지원하는 분석 방법이다. 정성적 분석의 대표적인 예는 전문가시스템(expert system)을 활용한 분석을 들 수 있다([8, 11]). 최근에 GIS의 정량적인 분석과 함께 지식기반(knowledge base)에 근거를 둔 정성적 판단 기능을 추가하는 시스템을 설계하는 등의 활동을 볼 수 있다([1]). 정성적 분석의 적용 예로는 토목공사, 군수계획 등에서 이성적 및 전문가 판단에 근거한 네트워크 설계 결정, 지반 구조에 따른 도로망 구축 타당성 검토 등이 포함될 수 있다. 이러한 정성적 분석은 앞에서 언급한 정량적 분석보다 높은 수준의 의사결정 정보를 제공하게 된다.

기존 GIS에서는 위의 세 가지 분석 기능 중에서 주로 지역적 분석과 정량적 분석 기능을 제공하고 있다. 수치 지도 구축 기능과 지역적 분석 기능이 초기의 GIS에서 제공하던 주된 기능이라고 한다면, 최근에는 광대한 수치지도와 부가정보를 활용한 정량적 분석이 핵심 기능으로 부각되고 있다. 대부분의 GIS에서 정량적 분석의 일종으로 네트워크 분석 기능을 제공하는데 여기에는 단순한 최단경로 탐색, 방문 제약이 있는 경로 탐색, 상품 분배·수송 경로 탐색 기능 등이 있다. 그러나, 현실 상황에서 발생하는 네트워크 문제에는 복잡한 제약조건과 다양한 부가정보 등이 포함된다. 예를 들어 도로 네트워크에서 최단경로를 구하는 경우, 교차로 회전 제약과 신호 대기 시간, 혼잡의 발생 등의 제약이 추가되고 사용자의 요구에 따라 복수개의 대안 경로를 제공해 주어야 하는 경우도 있다. 또한, 경로 탐색 문제뿐만 아니라 유통 비용을 고려한 각 호의 유량을 결정하는 문제에 대한 분석 기능도 필요하게 된다. 대부분의 GIS에서는 여러 가지 제약조건을 고려한 네트워크에서의 경로 탐색 기능을 제공하지 않고 있으며, 유통문제 등에 대한 분석 기능도 없는 실정이다. 따라서, GIS에서 제공하는 데이터를 이용하여 현실적이고 다양한 네트워크 최적화 문제에 대한 분석 기능을 제공해주는 소프트웨어의 개발이 요구된다.

본 연구는 GIS의 지리 정보로부터 여러 가지 네트워크 최적화 모형에 필요한 데이터를 추출하고 네트워크 최적화 알고리즘을 수행하여 그 결과를 GIS의 그래픽 장치를 통해 사용자에게 출력하는 일련의 과정의 구현을 다룬다. 본 연구에서 구현할 네트워크 최적화 시스템은 기초적인 네트워크 모형뿐만 아니라 보다 복잡한 네트워크 모형에 대한 분석 기능 등을 모두 포함하고 있어서 GIS의 지리 정보의 정량적 분석이나 정성적 분석에 대한 연구의 기본적 도구나 참고 자료가 될 수 있을 것이다.

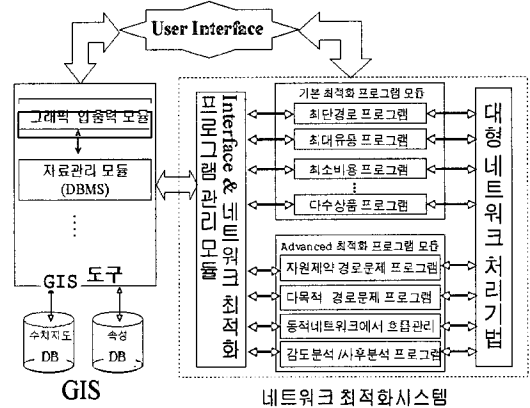
본 연구에서 고려한 네트워크 모형은 최단경로 문제, 최대유통문제, 최소비용문제, 다수상품문제 등의 기본 네트워크 모형뿐만 아니라 자원 제약이 있는 경로문제, 시간중속적 네트워크에서의 경로 문제, 다목적 경로문제, 치명호(vital arc) 문제 등 현실적인 네트워크 변형 문제에 대한 최적화도 함께 고려하고 있다.

2. GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템 설계

GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템은 GIS의 지리 정보로부터 네트워크 최적화 모형에 필요한 데이터를 추출해 내고 적절한 최적화 알고리즘을 수행하여 그 결과를 GIS의 그래픽 환경에 표현하는 시스템을 말한다. GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템은 다양한 종류의 데이터와 응용 환경에 잘 적용될 수 있는 호환성을 갖추는 것이 중요하다. 또한 새로운 네트워크 최적화 모형에 대한 처리 루틴을 쉽게 추가할 수 있도록 확장성을 갖추어야 한다. 이는 실제 데이터를 분석·처리하는 네트워크 최적화 시스템과 GIS의 지리 정보로부터 데이터를 추출하는 모듈, 분석 결과를 사용자에게 출력하는 사용자 인터페이스 및 데이터 베이스 관리 시스템이 상호 독립적으로 구축되는 것이 바람직함을 의미한다.

본 연구에서 설계한 GIS를 이용한 네트워크 최

적화 시스템의 기본 구조는 다음 <그림 1>과 같다. 네트워크 최적화 시스템은 크게 인터페이스 및 네트워크 최적화 프로그램을 관리하는 모듈, 기본적인 네트워크 모형을 위한 최적화 프로그램 모듈, 복잡한 제약이 있는 변형 네트워크 모형을 위한 최적화 프로그램 모듈이 있다. GIS에서 추출한 네트워크 문제는 대개 점(node)과 호(arc)의 수가 수천 개에서 수십 만에 이르는 대형 네트워크가 된다. 따라서, 네트워크 최적화 모듈에는 기본적으로 대형 네트워크를 처리할 수 있는 알고리즘과 자료 구조, 구현 방법 등이 적용되어 있어야 한다.



<그림 1> GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템의 구조

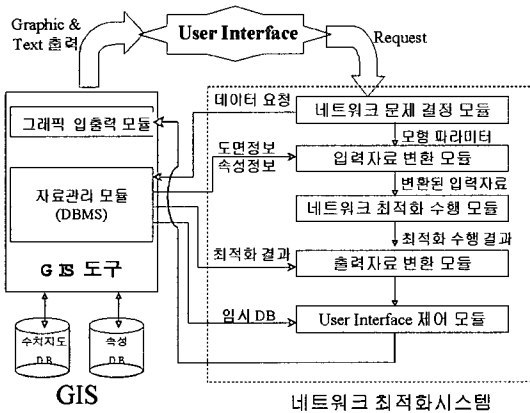
인터페이스 및 네트워크 최적화 프로그램 관리 모듈은 사용자로부터 네트워크 분석 요청이 들어오면 적절한 네트워크 모형을 인식하고 필요한 데이터를 사용자로부터 입력받거나 또는 GIS의 데이터베이스로부터 추출하여 네트워크 문제를 형성하고 이를 적절한 네트워크 최적화 프로그램에 넘겨주는 기능을 한다. 아울러 GIS 도구에서 제공하는 그래픽 창을 이용하여 네트워크 최적화 프로그램의 수행 결과를 사용자에게 보여 주고 부가적인 정보를 화면에 출력하는 기능을 수행한다.

기본 최적화 프로그램 모듈에는 최단경로 프로그램, 최대유통 프로그램, 최소비용 프로그램, 다수상품 프로그램 등 네트워크 최적화에서 기본이 되는 모형의 해법 프로그램들이 갖추어져야 한다. 또

한, 고급 최적화 프로그램 모듈에서는 부가적인 제약과 동적 네트워크, 복수개의 목적함수 등을 갖는 네트워크 문제에 대한 해법 프로그램 등을 갖추어야 하고 아울러 감도분석(sensitivity analysis) 및 사후 분석(postoptimal analysis)등을 수행할 수 있는 프로그램을 갖출 필요가 있다.

사용자는 네트워크 최적화 시스템에 필요한 최적화 기능을 수행하도록 요청하며 네트워크 최적화 시스템은 최적화 수행 결과를 GIS 도구에서 제공하는 그래픽 입출력 모듈을 제어하여 그래픽 형태로 출력할 수 있고 더불어 부가적인 최적화 수행 결과를 텍스트(text) 형태로 화면에 출력할 수 있어야 한다.

사용자로부터 네트워크 분석 요청을 받아 네트워크 문제를 구성하고 최적화 프로그램을 수행하여 그 결과를 출력하는 일련의 과정을 도식적으로 표현하면 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 네트워크 최적화 시스템의 전체 흐름

<그림 2>에서 알 수 있듯이 GIS의 구축된 데이터베이스로부터 네트워크 문제 형성에 필요한 자료를 추출할 때는 GIS 도구에서 제공하는 데이터베이스 관리 기능을 이용하게 된다. 대부분의 GIS 도구는 데이터베이스 관리 기능을 내부 기능으로 제공하고 있다 또한, GIS 도구의 데이터베이스 관리자로부터 추출하는 정보는 단순한 텍스트(text)

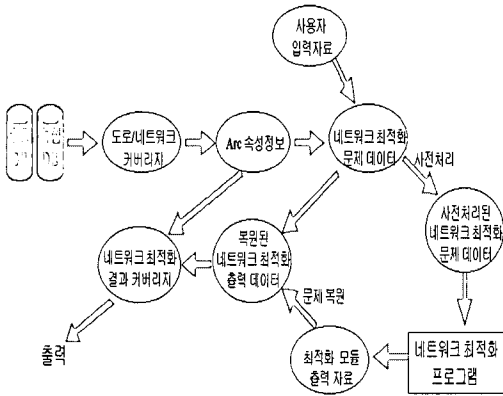
형태로 저장되어 네트워크 최적화 시스템의 입력 자료 변환 모듈에 의해 네트워크 최적화 프로그램이 인식하는 형태로 변환된다.

사용자로부터 네트워크 분석 요청이 들어오면 먼저 적절한 네트워크 문제를 결정하고 GIS 도구의 데이터베이스 관리자를 호출하여 필요한 자료를 얻는다. 이 자료를 데이터 변환 모듈을 거쳐 네트워크 최적화 프로그램이 인식할 수 있는 자료로 바꾸고 네트워크 최적화 프로그램을 수행하여 그 결과를 얻는다. 네트워크 최적화 프로그램의 결과는 다시 출력 자료 변환 모듈에 의해 수정되고 이를 GIS의 데이터베이스와 관련지어야 하므로 GIS의 데이터베이스 관리자를 다시 호출하여 임시 데이터베이스를 만든다. 임시 데이터베이스는 기존의 GIS에 구축된 데이터베이스에 추가적으로 네트워크 최적화를 수행한 결과가 덧붙여 만들어지는 데이터베이스이다. 임시 데이터베이스를 이용하여 GIS 도구의 그래픽 출력 모듈을 제어함으로써 네트워크 최적화 수행 결과를 지도상에 표시해 준다. 또한, 최적화 결과로 나오는 부가적인 텍스트(text)정보는 네트워크 최적화 시스템의 텍스트 창(text window)에 직접 출력한다.

이상의 GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템의 기본 구조와 수행 절차를 바탕으로 하여 실제 GIS 도구를 사용하여 구현한 결과를 다음 장에서 소개한다.

3. 구현 방법

먼저 네트워크 최적화 시스템의 가장 중요한 부분 중의 하나가 GIS 수치데이터와 속성데이터로부터 네트워크 최적화 문제를 형성하고 네트워크 최적화 수행 결과를 GIS 출력 장치를 통해 사용자에게 출력하는 방식이다. 본 연구에서는 다음 그림과 같은 과정을 통해 GIS 데이터와 네트워크 최적화 시스템과의 연계 과정을 구현하였다.



〈그림 3〉 GIS 데이터와 네트워크 최적화 시스템의 인터페이스 흐름

먼저 GIS에 저장된 수치 데이터와 속성 데이터베이스로부터 도로망 또는 기타 네트워크를 담은 커버리지(coverage)를 추출한다. 이는 GIS 도구에서 제공하는 데이터베이스 조작 연산을 통해 이루어진다. 다음으로 도로 또는 기타 네트워크 커버리지에서 네트워크 최적화에 필요한 속성 데이터를 추출한다. 즉, 각 호의 시작점과 출발점, 각 호의 거리 및 용량, 너비 등의 속성 정보를 추출한다. 이 때, 추출할 속성 정보는 풀고자 하는 네트워크 모형에 따라 달라진다. 예를 들어 최단경로문제에서는 각 호의 시작점과 출발점, 각 호의 거리 정보를 추출해야 하지만 시간중속 네트워크에서는 시간에 따른 각 호의 통과시간 정보도 추출해야 하고, 교차로 제약이 있는 경로 탐색에서는 각 교차로의 위치와 회전 제약 등에 대한 정보도 추출해야 한다.

추출된 호(arc) 속성 정보와 사용자가 입력한 문제 정의 자료를 결합하여 네트워크 최적화 문제를 구성하게 된다. 이렇게 구성된 네트워크 최적화 문제는 자료의 결합이나 연결성 등에 대한 검사와 중복적인 호나 점을 제거하는 사전처리(preprocessing) 과정을 거쳐 사전처리된 네트워크 최적화 문제가 생성된다. 사전처리는 실제 GIS 데이터에서 발생하는 입력 자료의 결합 등을 미리 검사하고 네트워크 최적화 문제의 크기를 줄임으로써 네트워크 최적화가 안정적이고 빠르게

수행될 수 있게 해준다([6]). 예를 들어 최단경로 문제의 사전처리에서는 출발점과 시점이 연결(connected)되어 있는가를 검사하고 각 점(node)들의 번호를 순서대로 부여하게 된다. 또한, 각 호의 길이가 비음(nonnegative)인가를 검사하고 병렬호(parallel arc)등은 미리 제거한다. 실제 GIS의 수치지도에서 추출한 네트워크는 각 점의 번호가 연속적으로 매겨지지 않은 경우가 많고, 데이터 입력 오류로 출발점과 도착점이 연결되지 않는 경우도 종종 있게 된다. 또한 GIS에서는 점(node)과 마디(vertex)를 구분하여 점과 점을 연결하는 호가 여러 개의 마디로 구성되는 경우도 있어 이에 대한 처리를 통해 네트워크의 크기를 줄일 필요성이 있다.

사전처리된 네트워크 최적화 문제는 최적화 모듈의 입력 자료로 들어가고 최적화 프로그램은 최적화 결과를 출력한다. 현실 도로 네트워크에서 사전처리된 네트워크 문제일지라도 그 규모가 매우 큰 경우가 많다. 따라서, 최적화 프로그램의 수행 시간을 단축함으로써 사용자에게 해를 출력하기까지 소요되는 전체 반응시간을 줄여야 한다. 이를 위해서는 대형 네트워크를 효율적으로 다룰 수 있는 기법들이 필요하다. 본 연구에서는 희소성을 이용할 수 있는 자료구조와 해법 등의 개발로 사용자까지의 반응시간을 수 초 이내로 줄였다.

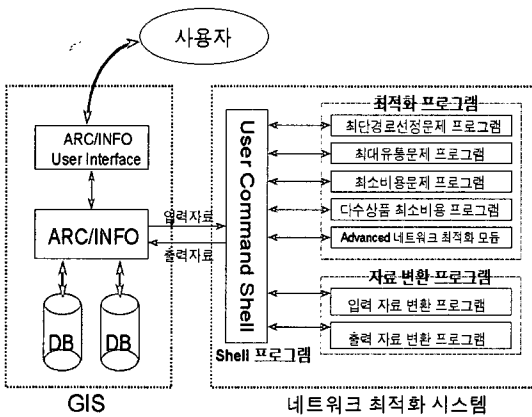
출력된 최적화 결과 데이터는 사전처리된 문제의 최적해이므로 사전처리 복원 과정을 거쳐 원문제의 최적해로 변환되고 이는 다시 네트워크 최적화 결과 커버리지로 변환되어 사용자에게 출력할 수 있는 형태로 바뀌게 된다.

본 연구에서는 이러한 연계 구조를 기본으로 하여 GIS와 연계하여 작동되는 네트워크 최적화 시스템을 다음과 같이 2가지 형태로 구성하여 보았다. GIS 도구로는 가장 많이 사용되는 도구 중의 하나인 ARC/INFO를 사용하였다. ARC/INFO에 대한 자세한 설명은 [12]를 참조하기 바란다.

3.1 스크립트(Script) 처리 방식을 이용한 구현

첫 번째는 <그림 4>과 같이 GIS 도구의 사용자

셸(shell) 환경에서 스크립트 언어를 이용하여 구축되는 네트워크 최적화 시스템이다. 이 네트워크 최적화 시스템은 사용되는 GIS 도구에 따라 구현 방법이 종속되므로 구축된 네트워크 최적화 시스템 GIS 도구간의 호환성을 갖지 못한다는 단점이 있다. 그러나 구현이 쉽고 GIS 도구에서 제공하는 다양한 기능을 사용할 수 있다는 장점이 있다. GIS 도구 상에서 사용자 셸을 수행하고 여기서 다양한 지리 정보를 추출하여 이를 최적화 프로그램이 인식할 수 있는 데이터 형태로 변환한 다음 최적화 프로그램을 수행하여 그 결과를 얻게 된다. 이 결과는 다시 GIS 도구가 인식할 수 있는 데이터 형태로 변환되어 GIS 도구에 의해 그래픽 형태로 분석 결과를 제공하게 된다. 사용자는 GIS 도구상의 셸을 통해 인터페이스를 수행하기 때문에 마치 네트워크 최적화 시스템이 내부 기능인 것처럼 인식하게 된다.



<그림 4> 스크립트 언어를 이용한 구현

본 구조의 구현을 위해서 최단경로문제, 최대유통문제 등에서 다음과 같은 4 개의 모듈이 필요하다.

- 사용자 셸(shell) 제어 모듈
- 데이터 입출력 모듈
- 최적화 모듈(최단경로문제, 최대유통문제, 최소비용문제, 치명호 프로그램)

사용자 셸 제어 모듈은 <그림 1>의 인터페이스 및 최적화 프로그램 관리 모듈에 해당하는데 GIS

도구에서 제공하는 스크립트 언어를 통해 구현된다. 먼저 사용자로부터 네트워크 분석 요청을 받아 네트워크 문제 형성에 필요한 자료를 사용자와 GIS의 데이터베이스관리 시스템에서 얻어 온다. 예를 들어, 최단경로문제를 풀고자 하는 경우에는 출발점과 도착점을 사용자에게 입력할 것을 요청하고 네트워크의 점과 호 및 호의 길이에 대한 정보는 GIS의 데이터베이스 관리자에게 요청하게 된다.

데이터 입출력 모듈은 GIS에 저장된 지리 정보 중에서 최적화에 필요한 데이터만 추출하여 이를 최적화 모듈이 인식할 수 있는 형태로 변환해주는 기능을 하는 모듈이다. 아울러 데이터 입출력 모듈 내의 데이터베이스 조작 모듈은 최적화 모듈의 분석 결과와 GIS의 내부적으로 저장된 지리정보를 연관지어 줄 수 있는 데이터베이스 조인연산(join operations)을 위해 최적화 모듈의 분석 결과를 데이터베이스 형태로 변환하는 기능을 수행한다.

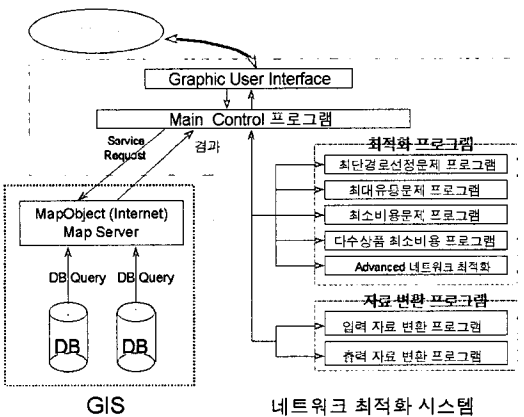
최적화 모듈은 다양한 해법과 효과적인 자료구조를 사용하여 실제 네트워크 문제의 해를 구하는 모듈로서 네트워크 최적화 시스템의 핵심 엔진이라고 볼 수 있다.

3.2 클라이언트 도구(Client Tool)를 이용한 구현

두 번째로 고려한 네트워크 최적화 시스템의 구조는 <그림 5>와 같은 클라이언트 도구(client tool)을 이용한 방식이다. 이 구조는 사용자 입력을 받는 부분과 사용자에게 그래픽 형태의 출력을 제어하는 부분을 네트워크 최적화 시스템에서 직접 담당한다. 그래픽 출력을 실제 수행하는 기능과 사용자의 그래픽 입력을 분석하는 기능은 각 GIS 도구에서 제공하는 클라이언트 도구를 이용함으로써 객체 지향 시스템 형태를 띠게 된다. 따라서 이 구조는 GIS 도구에서 지도 콘트롤(map control)을 제공하기만 하면 쉽게 이식될 수 있는 장점을 있다. 또한 최근의 모든 응용 환경이 인터넷 상에서 수행될 수 있도록 바뀌는 추세를 감안할 때 클라이언트 도구를 이용한 구현은 웹(web)상에 쉽게 이식될 수 있다는 장

점도 있다.

클라이언트 도구를 이용한 구현에서는 Arc/Info에서 제공하는 윈도우즈용 GIS 컨트롤(control)인 MapObject를 이용한다. MapObject는 여러 가지 함수와 사건 채어기가 있어 사용자로부터 지도상의 입력과 그래픽 출력을 쉽게 수행할 수 있도록 해준다. 또한, 내부적으로 데이터베이스 조작을 위한 함수도 제공하므로 이를 통하여 네트워크 문제 형성 및 출력에 필요한 자료를 조작할 수 있다. MapObject 컨트롤을 포함한 네트워크 최적화 시스템은 사용자의 네트워크 분석 요청을 받아 필요한 자료를 MapObject내의 함수를 호출하여 얻고 이를 변환하여 최적화 프로그램에 넘겨준다. 최적화 프로그램의 수행 결과를 다시 받아 이를 조작하여 도면상의 출력하도록 MapObject내의 함수를 호출하고 부가적인 정보를 텍스트 창(text window)에 출력한다.



<그림 5> 클라이언트 도구를 이용한 구현

4. 실행 결과

앞 장에서 제시한 두 가지 방식의 GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템을 각각 구현하여 수행한 결과를 알아보자. 수행결과는 우리 나라의 2 개의 도시에 대해 네트워크 최적화 시스템을 수행하여 얻은 것이다. 먼저 스크립트 처리방식에 의한 수행

결과를 보이고 다음으로 클라이언트 도구를 이용한 구현의 수행 결과를 보이도록 한다.

4.1 스크립트 처리방식을 이용한 네트워크 최적화 시스템의 구현

Arc/INFO의 사용자 셸에서 네트워크 최적화 시스템을 수행하면 <그림 6>과 같이 초기 지도가 나온다. 지도는 우리 나라의 한 도시의 일부분을 보여 주는데 전체 점의 개수는 약 4,500개 정도이다. 여기에서 사용자가 두 개의 지점간의 최단경로문제를 풀고자 하면 출발점과 도착점을 지정하게 되고 이를 받아서 최단경로를 출력한 화면은 <그림 7>과 같다. 최단경로에 포함되는 호는 화면에 붉은 색 호로 표시된다.



<그림 6> 구현 초기 화면

본 연구에서 사용된 최단경로 프로그램은 이중 버킷(double bucket) 자료구조를 이용한 Dijkstra 방법([2])을 사용하였다. 최단경로 프로그램은 사용한 자료구조에 따라 수행시간이 크게 달라지므로 본 연구에서는 다이얼 방법(Dial's implementation), 이진 힙(binary heap), 라디스 힙(radix heap), 이중 버킷(double bucket)을 각각 구현하고 이 중에서 가장 빠른 이중 버킷 방법으로 실험하였다.



〈그림 7〉 최단경로 출력 결과

예제 데이터로 우리 나라 S시와 C시의 도로 네트워크를 사용하였는데 임의의 두 지점 사이의 최단경로를 찾는데 걸리는 평균 수행시간은 1~2초 내외로 거의 실시간에 가까운 수행시간을 보였다. 마찬가지로 최단경로 상의 치명호를 찾는 데 걸리는 시간도 평균 2~5초 내외로 빠른 수행도를 보였다. 수행 결과를 요약하면 다음 표와 같다.

〈표 1〉 최단경로 프로그램 및 치명호 프로그램 수행 시간

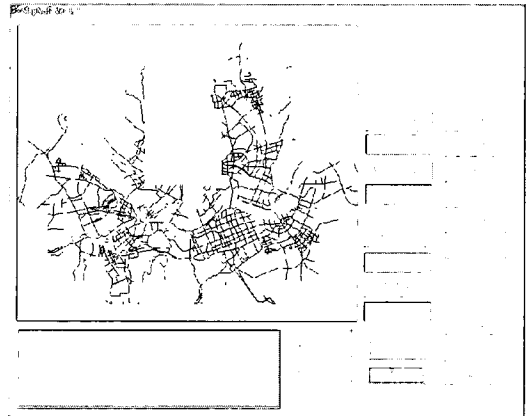
데이터 명	점(node) 개수	호(arc) 개수	최단경로 탐색시간	치명호 결정시간
S시	1690	3990	1.0 sec	2.1 sec
C시	4075	9212	2.2 sec	4.8 sec

(사용기종 : Pentium 300MHz, 64M RAM)

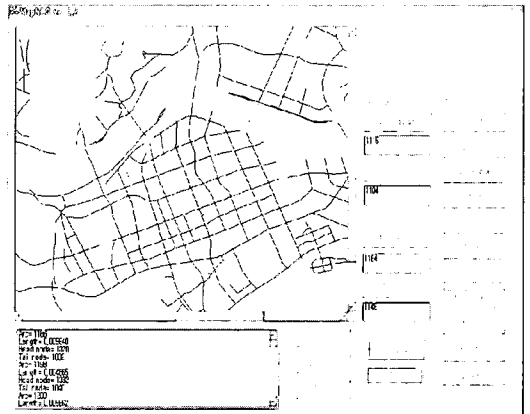
4.2 클라이언트 도구를 이용한 네트워크 최적화 시스템 구현

MapObject를 이용한 네트워크 최적화 시스템 구현은 윈도우즈 환경에서 수행될 수 있게 구축되었다. MapObject를 이용한 네트워크 최적화 시스템을 수행하면 다음과 같은 초기 화면이 나타나게 된다. 아래의 수치지도와 속성 데이터는 우리나라의 S시의 관한 데이터를 사용하였다.

여기서 마우스를 이용하여 지도상의 한 점을 선택하여 출발점으로 하고 다른 한 점을 선택하여 도착점으로 하여 최단경로를 구하면 출발점과 도착점에 관한 정보와 최단 경로, 최단경로의 길이 및 최단경로 상에 있는 점을 <그림 9>과 같이 출력하게 된다. 이 때, 출력 과정에서 최단경로 상의 호가 화면에 하나씩 출력하면 출력되는데 상당한 시간이 소요되므로 최단경로 전체를 한꺼번에 출력하도록 해야 출력시간을 줄일 수 있다.



〈그림 8〉 MapObject를 이용한 구현 - 초기 실행 화면

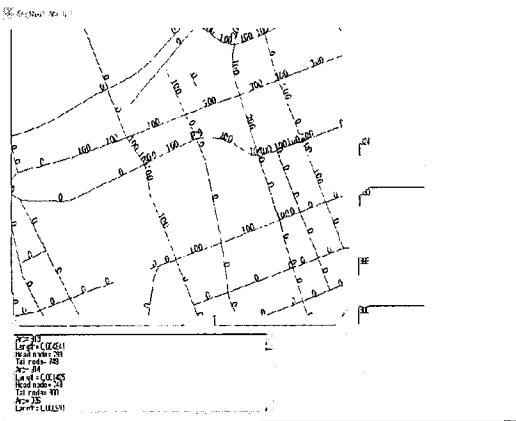


〈그림 9〉 MapObject를 이용한 구현 - 최단 경로 출력 화면

다양한 정보와 현실적인 도로 네트워크를 고려하기 위해 교차로 제약이 있는 도로 네트워크에서

의 최단경로 탐색(3)], 시간대에 따라 도로의 통과 시간이 달라지는 네트워크에서 최단경로 탐색(5) 등도 함께 수행할 수 있다.

또한, 위의 데이터에서 최대유통문제를 수행하면 다음과 같이 출발점으로부터 각 호를 따라 흘러가는 양과 전체 흐름량이 화면상에 표시된다.



〈그림 10〉 MapObject를 이용한 구현 - 최대유통 문제 수행 결과

최대유통문제 프로그램은 Push-Relabel 방법을 사용하여 구현되었으며(4)], S시와 C시에서 최대유통 흐름을 찾는데 평균 2~3초 이내의 시간이 소요되었다. 수행시간을 줄이기 위해서는 Relabel 회수를 줄여야 하는데 이를 위한 기법들이 최대유통문제 프로그램에 구현되었다.

이 밖에도 최소비용문제, 치명호 문제 등을 수행할 수 있고 다수경로를 찾는 프로그램도 수행할 수 있도록 구현되어 있다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 현실 문제에서 나타나는 여러 가지 제약과 정보가 결합된 복잡한 네트워크 분석 기능을 수행하는 네트워크 최적화 시스템의 설계와 구현 방법을 다루었다. 제시한 네트워크 최적화 시스템은 먼저 사용자가 요구한 네트워크 분석 모형에 필요한 데이터를 GIS의 구축된 데이터베이스

로부터 추출한다. 다음으로, 사전처리 과정을 거쳐 네트워크 문제를 만들고 최적화 수행 및 결과 출력에 이르게 된다. 본 연구는 이러한 전과정을 통합하는 GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템의 기본 구조를 설계하였다. 또한, 네트워크 최적화 시스템의 실제 구현을 위해 일반적인 GIS 도구 중의 하나를 선정하였으며 여기에 내재된 스크립트 처리방식과 클라이언트 도구를 활용하여 최단 경로문제 외의 여러 네트워크 최적화 프로그램을 포함한 네트워크 최적화 시스템을 구현하였다. 본 연구에서 사용한 두 가지 방식에 의한 네트워크 최적화 시스템의 구현은 대체로 GIS 의사결정 모형 문제를 위한 일반적인 대안이라고 할 수 있다. 사용자 편의성이 강조되어 개발되는 대부분의 시스템은 후자의 형태를 따르고 있으나 개발자의 입장에서는 보다 복잡한 환경의 개발 방법에 익숙하여야 한다는 단점이 있다.

추후 연구과제로는 보다 다양한 형태의 제약과 사용자 요구를 충족시킬 수 있는 네트워크 분석 프로그램을 추가 구현하는 것이 필요하다. 또한 많은 사용자로 하여금 GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템에 쉽게 접근할 수 있도록 인터넷상에서 수행될 수 있는 GIS를 이용한 네트워크 최적화 시스템의 구축도 필요하다. 이러한 방법은 보다 많은 기능을 제공할 수 있는 클라이언트 도구를 활용하여 개발 가능할 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] 박기석, GIS 지리정보시스템, 동서, 1995.
- [2] 박순달, 경영과학(Operations research) 제3판, 민영사, 1998.
- [3] 박찬규, 박순달, 진희재, “교차로 제약과 지연이 있는 네트워크에서 최단경로탐색”, 한국경영과학회지, 제23권 3호(98.9), pp.17-26.
- [4] 성명기, 성기석, 박순달, “최대유통문제를 위한 High-Level Push-Relabel방법의 효율화”, 대한산업공학회/한국경영과학회 '98 춘계공동학

- 술대회(96.4.24-25) 논문집 CD IEMS '98(5쪽).
- [5] 성명기, 안재근, 성기석, 박순달, “시간 종속적 네트워크에서 최단경로 해법에 대한 실험적 연구”, 대한산업공학회/한국경영과학회 '98 춘계 공동학술대회(96.4.24-25) 논문집 CD IEMS '98(4쪽).
- [6] 엄순근, 박찬규, 박순달, “최소비용문제에서의 사전처리”, 한국경영과학회 '98추계학술대회 논문집(98.10.10), pp.71-74.
- [7] 진희채, “GIS에서 네트워크 분석 시스템 구축에 관한 연구”, 한국경영과학회 GIS활용연구회 '98 학술세미나 논문집, p.1-12.
- [8] Fotheringham, S., P. Rogerson, Spatial analysis and GIS, Taylor & Francis, 1995.
- [9] Chou, Y-H., Exploring spatial analysis in geographic information systems, OnWord Press, 1997.
- [10] Fisher, M.M., A. Getis, Recent developments in spatial analysis, Springer, 1997.
- [11] DeMers, M.N., Fundamentals of geographic information systems, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [12] ESRI, Arc/Info data management : Concepts, data models, database design, and storage, Environmental Systems Research Institute, Inc., 1994.