

# 도로망 그래프의 우회도와 접근도 분석을 위한 GIS 응용 프로그램 개발\*

이기원<sup>1\*</sup>

## Implementation of GIS-based Application Program for Circuitry and Accessibility Analysis in Road Network Graph\*

Kiwon LEE<sup>1\*</sup>

### 요 약

최근 여러 전문 분야에서 GIS 기반으로 구축된 다양한 공간주제정보의 활용 및 분석에 대한 수요가 증가하고 있다. 본 연구에서는 기본적인 도로 관련 레이어 정보를 이용하여 교통지리학적 분석이 가능한 GIS 응용 프로그램을 구현하였다. 본 프로그램을 이용하여 행정 구역단위나 사용자가 임의로 설정한 분석 구역의 도로망으로부터 그래프 형의 망 구조에 대한 특성을 정량적으로 표현하는 우회도(circuitry)와 접근도(accessibility)의 산정이 가능하다. 우회도는 분석 구역으로 설정된 구역에 존재하는 노드의 지위를 판단하기 위하여 하나의 바람직한 교통망을 기준으로 하여 실제 도로망을 구성하는 노드들이 어느 정도의 차이를 나타내는 가를 정량적으로 파악하기 위한 방법이며, 접근도는 우회도의 분석에 이용되는 같은 레이어 데이터인 그래프 망 구조에 대하여 망 구조에 포함된 모든 노드를 대상으로 하여 각각의 노드 들간의 접근의 용이성을 나타내고자 하는 개념이다. ArcView 3.2a의 개발언어인 AvenueTM를 이용하여, AVX 형식의 extension으로 구현된 프로그램 실행에 필요한 기본 데이터는 교통 데이터 모델에 기반하는 전문적인 교통 데이터베이스 정보를 필요로 하지 않고 수치지도로부터 쉽게 추출할 수 있는 도로 중심선 레이어와 행정 경계 레이어등을 이용할 수 있도록 하였다. 처리 결과로 얻어진 우회도와 접근도는 교통 분야에서 GIS 적용을 위한 공간 분석 방법으로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

**주요어:** 공간분석, 도로망, 우회도, 접근도, ArcView 응용 프로그램

### ABSTRACT

Recently, domain-specific demands with respect to practical applications and analysis scheme using spatial thematic information are increasing. Accordingly, in this study, GIS-based application program

2004년 2월 20일 접수 Received on February 20, 2004 / 2004년 3월 14일 심사완료 Accepted on March 14, 2004

\* 본 연구는 2003년도 한성대학교 교내연구비 지원과제임

<sup>1</sup> 한성대학교 정보공학부 Division of Information Engineering, Hansung University

\* 연락처자 E-mail: kilee@hansung.ac.kr

is implemented to perform spatial analysis in transportation geography with base road layer data. Using this program, quantitative estimation of circuitry and accessibility, which can be extracted from nodes composed of the graph-typed network structure, in a arbitrary analysis zone or administrative boundary zone is possible. Circuitry is a concept to represent the difference extent between actual nodes and fully connected nodes in the analysis zone. While, accessibility can be used to find out extent of accessibility or connectivity between all nodes contained in the analysis zone, judging from inter-connecting status of the whole nodes. Input data of this program, which was implemented in AVX executable extension using AvenueTM of ArcView, is not transportation database information based on transportation data model, but layer data, directly obtaining from digital map sets. It is thought that computation of circuitry and accessibility can be used as kinds of spatial analysis functions for GIS applications in the transportation field.

**KEYWORDS:** *Accessibility, ArcView Extension, Circuitry, Road Network, Spatial Analysis*

## 서론

기본 지리정보 데이터에 기반하여 특정 분야의 공간 주제정보를 활용하기 위한 대상으로 하는 처리 방법이나 이를 위한 응용 프로그램에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이와 관련된 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 응용 분야 중에서 교통분야는 주요한 활용분야로 간주되고 있다. 교통분야에서의 GIS 활용은 소프트웨어적인 측면을 강조한 GIS-T(GIS for transportation)나 하드웨어나 기반환경에 주안점을 둔 ITS(intelligent transportation system) 등과 같은 대규모의 독자적인 분야로 발전하거나 연계되어 왔다. 이러한 교통분야의 GIS 활용에 대한 기술개발이나 연구는 향후에도 관련 분야와의 지속적인 확장 및 연계를 통하여 GIS에 기반하는 주요응용분야로 전망되고 있다 (Hoyle과 Knowles, 2000; Heipke, 2004).

본 연구에서는 중요한 GIS 주제 정보의 하나인 도로망 데이터 또는 교통망 데이터를 이용하는 공간 분석 방법을 다루고자 한다. 현재 상업적인 GIS 툴을 이용하여 도로망이나 교통망 정보와 같은 망 구조의 데이터를 처리하는 소위 네트워크 분석 기능은 주로 최단 경로 또

는 최적 경로를 탐색하거나, 망을 통한 인접 시설물 검색, 서비스 지역에 필요한 자원 분배와 할당 등과 같이 요구 기능을 수행할 수 있는 응용 방법들이 제공되고 있으나(Ormsby와 Alvi, 1999), 본 연구에서 다루고자 하는 도로망 구조의 기본적인 특성 파악을 위한 모듈이 직접 제공되는 툴은 많지 않다.

Lee(2002), Lee와 Oh(2003), Lee(2004) 등에서는 고해상도 영상정보를 배경 정보로 하여 교통 분야에 필요한 지수 정보를 추출하는 몇 가지의 응용 프로그램 개발을 시도한 바 있으나, 이러한 연구는 도로망이나 교통망을 구성하는 전체 노드(node) 정보를 대상으로 하는 망 구조의 특성 파악을 위한 분석보다는 개별 노드에 대한 특성 지수를 얻기 위한 것으로 본 연구의 내용과는 다소 차이가 있다. 따라서 본 연구는 GIS-T의 처리 기법의 관점에서 교통 관련 기본 공간정보를 이용하는 공간분석 방법에 주안점을 두어 우회도(circuitry)와 접근도(accessibility)를 구할 수 있는 응용 프로그램의 구현 결과를 중심으로 설명하고자 한다.

도시교통 분석관점에서의 교통망의 분석 기법에 대해서는 임용택과 임강원(2003)이 교통망 균형이론과 통행 배정모델 이나 동적 교통

과정 모델 등에 대한 이론을 종합적이고 체계적으로 정리한 바 있으며, 한주성(1996)은 교통 지리학 관점에서의 다양한 자료 처리 및 분석 기법에 대하여 소개한 바 있다. 교통지리학적 분석 기법들 중에서 많은 방법들이 1990년 대 이후 공간 데이터베이스로 저장 가능한 교통 정보와 GIS를 연계하는 GIS-T와 같이 독자적인 응용 분야로 체계화되면서 다양한 연구와 데이터 처리 방법론의 개발되고 있다 (Lang, 1999; Miller와 Shaw, 2001). 한편 최봉문 등(1999)은 도시 정보처리에서의 GIS 기법의 적용방법을 정리한 바 있는데, 도시 정보 관리 및 분석에 이용되는 주요 분석 방법들은 일부 격자형 정보를 대상으로 하는 경우도 있고, 벡터 데이터의 경우에는 주로 속성 질의와 공간 질의 또는 검색 기능등에 주로 의존하는 경우가 많다. Easa와 Chan(2000)은 도시 계획에서의 GIS 응용 기법에 대하여 정리하면서 GIS-T의 기능적인 역할을 강조한 바 있다. 일반적으로 도로망 정보의 경우는 데이터 형식에 관계없이 기본적인 GIS 기반의 도시 정보 중의 하나이므로, 이에 대한 실무적인 처리 기법들의 개발에 대한 잠재적인 수요는 많은 것으로 알려져 있으나 이를 효율적인 분석 방법에 따라 처리하고 유용한 결과를 도출할 수 있는 전문적인 연구에 대한 필요성이 강조되고 있다.

분석적 입장에서 망 구조로 이루어지는 도로망이나 교통망 정보는 적용 목적에 따라 다양하고 복잡한 속성 정보가 수반되어야 하는 경우가 많으므로, 이와 관련된 응용 프로그램이나 응용 시스템 구축시에는 교통 관련 정보를 효과적으로 처리하기 위한 전문적인 교통 데이터 모델을 전제로 하는 경우가 일반적이다. 본 연구는 잠재적 활용 가능성이 높은 교통지리학적 개념을 GIS 환경에서 효과적으로 처리할 수 있는 응용 프로그램의 개발에 주안점이 있으며, 우회도나 접근도의 산정은 수치지도로부터 직접 분리할 수 있는 도로망 레이어 정보를 입력 데이터로 사용할 수 있도록 설계하였다.

## 우회도와 접근도의 개요

일반적으로 GIS 응용 프로그램의 개발은 특정 목적 시스템에 대한 사용자 인터페이스 환경에 대한 커스터마이징(customizing)을 포함하며, GIS 엔진이나 틀에서 제공하는 내부 API(application programming interface)를 이용하여 기존의 GIS의 기본 환경에서 제공하지 않는 기능이나 어떤 목적에 맞게 체계화된 연속적인 처리 과정의 자동화 단계를 제공하기 위한 중간개발자 단계의 작업이라 할 수 있다.

교통 분야에 적용이 가능한 GIS의 응용 프로그램은 ESRI의 ArcView GIS와 연동되는 응용 프로그램인 network analysis 등이 있으며, 본 프로그램은 교통 분야에서 많이 적용되는 최적 주행로 결정, 주행 비용의 산정, 망 구조에 따른 인접 시설물과 서비스 구역의 검색, 교통류의 모델링 등과 같은 여러 가지 기능을 수행할 수 있는 기능을 제공한다(Ormsby와 Alvi, 1999). 한편 Lee와 Wong(2001)은 ArcView GIS의 API를 이용하여 점, 선, 면 형 공간 객체에 대한 공간 통계학적 분석 기능등을 개발한 바 있으나, 교통 지리학적 관점에서의 우회도나 접근도의 산정 기능은 제공되지 않고 있다. 다음 절에서는 이와 같은 우회도와 접근도의 산정에 적용된 기본 개념을 설명하고자 한다.

### 1. 우회도(circuitry)

우회도는 사전에 설정되어 있는 분석 구역이나 또는 on-the-fly 방식으로 필요에 따라 임의로 사용자가 설정하는 구역화된 공간 범위내에서 도로 중심선에 기반한 도로망이나 교통망을 구성하는 포인트 형 객체(point feature)로 정의되는 노드(node) 또는 노드 점(node point)의 지위에 대한 측도를 나타내기 위한 개념이다(한주성, 1996). 이 측도의 계산 방법은 하나의 바람직한 교통망을 설정하고 이를 기준으로 그림 1(A)와 같은 실제 대상 구역의 교통망

또는 실제 도로망을 구성하는 노드들이 어느 정도의 차이를 나타내는 가를 정량적인 값으로 표현하는 것이다. 이때 바람직한 교통망은 일반적으로 그림 1(B)와 같이 완전 연결된 망으로 가정하며, 각 노드 간의 관계는 표 1(A)와 같은 거리 행렬로 표현하게 된다. 이러한 망 구조와 거리 행렬을 이용한 우회도의 계산은 아래 수식을 통하여 구할 수 있다.

$$C_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [d(i, j) - e(i, j)]^2$$

여기서  $C_i$ 는  $i$ 번째 노드에서의 우회도를 나타내며,  $n$ 는 분석 구역내의 노드의 개수,  $d(i, j)$ 와  $e(i, j)$ 는 각각 실제  $i$ 와  $j$ 번째 노드 간의 거리 값과 완전 연결된 망 구조에서  $i$ 와  $j$ 번째 노드 간의 거리 값을 나타낸다. 이러한 방식에 따라 구한 우회도 행렬의 계산 결과는 표 1(B)와 같이 나타낼 수 있으며, 이 경우에는  $v_1$ 과  $v_7$ 가 분석 구역내에서 우회도가 큰 노드임을 알 수 있다.

## 2. 접근도(accessibility)

도로망이나 교통망을 구성하는 노드들의 상호간에 연결된 상태에 대한 정보는 망 구조의

기본적인 특성이라 할 수 있으며, 이는 표 1(A)의 거리 값에 해당하는 요소 값을 단위 값인 1로 대체하여 연결도 행렬 방식으로 표현할 수 있다.

Chou(1997)는 이러한 방식의 표현을 네트워크 연결도(network connectivity)라고 한 바 있으며, 이러한 행렬  $C^1$ 은 분석구역 내의 선택된 노드 개수에 관계없이 항상 정방 행렬로 나타난다. 또한 연결도 행렬은 임의의 분석 구역에 존재하는 노드 들간의 상대적인 접근 용이도를 나타내는 ‘접근도 행렬(accessibility matrix)’의 유도에 직접적으로 이용될 수 있다. 접근도 행렬(A)은 아래와 같이 구할 수 있으며, 접근도 행렬의 해석시에는 각 행을 기준으로 행의 요소들을 합산한 뒤 합산 값이 가장 큰 노드가 해당 분석 구역 내에서 가장 접근도가 우수한 노드로 판단하게 된다.

$$[C^2] = [C^1][C^1]$$

$$[C^3] = [C^1][C^2]$$

$$[A] = [C^1] + [C^2] + [C^3]$$

Ma와 Pun-Cheng(2000)과 이기원 등(2003)은 교통분석 구역내의 특정 노드에 대하여 중력모델 기반의 접근성 지수를 추출하는 방법을 제시한 바 있으나, 본 연구에서 다루는 접근성

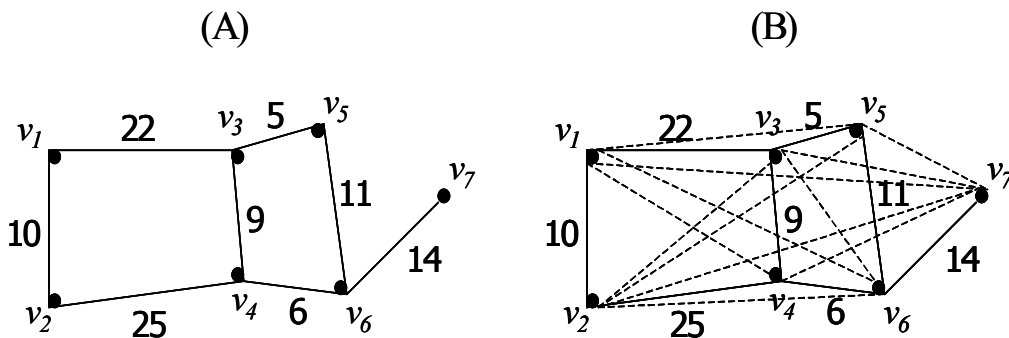


FIGURE 1. Example of road network with distance (A), and fully connected road graph network (B). Excerpted from Han(1996)

TABLE 1. Representation of distance matrix with respect to Figure. 1 (A) and circuitry matrix as result (B). Excerpted from Han(1996)

(A)

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>
V <sub>1</sub>	0	10	22	17	25	21	30
V <sub>2</sub>	10	0	16	25	20	27	36
V <sub>3</sub>	22	16	0	9	5	6	18
V <sub>4</sub>	17	25	9	0	7	6	16
V <sub>5</sub>	25	20	5	7	0	11	16
V <sub>6</sub>	21	27	6	6	11	0	14
V <sub>7</sub>	30	36	18	16	16	14	0

(B)

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	SUM	Circuitry
V <sub>1</sub>	0	0	0	196	4	256	441	897	128.14
V <sub>2</sub>	0	0	256	0	289	16	81	642	91.71
V <sub>3</sub>	0	256	0	0	0	81	121	458	65.43
V <sub>4</sub>	196	0	0	0	0	49	16	261	37.29
V <sub>5</sub>	4	289	0	0	0	0	225	567	81.00
V <sub>6</sub>	256	16	81	49	0	0	0	353	50.43
V <sub>7</sub>	441	81	121	16	225	0	0	884	126.29

은 분석 구역 전체를 망 구조로 하여 전체 노드 중에서 노드 상호간에 가장 접근이 용이한 노드를 찾고자 하는 목적으로 적용되므로, 하나의 노드에 대한 접근 용이성을 나타내는 중력 모델기반의 노드 간 접근성과는 차이가 있다.

### 3. 도로 그래프 망의 편집

도로망 분석에서 가장 중요한 도형 레이어는 도로망 레이어이며 본 연구에 대상으로 하는 기본적인 데이터는 이 레이어에 기반한다. 도로망 레이어 데이터는 수치지도에서는 DXF 파일내의 폴리라인의 형태로 추출할 수 있으나, 도로망이나 교통망 분석을 위해서는 그래프 형태로 도로망 레이어를 편집할 필요가 있다. 도로망 그래프는 토폴로지(topology) 생성을 지원하는 GIS툴을 이용하는 경우에는 수치지도의 도로중심선 레이어를 이용하여 직접 생성한 뒤에, 본 프로그램에 적용할 수 있다. 그

러나 이와 같은 틀이 없는 경우에는 DXF 파일로 되어 있는 원시 데이터가 불규칙한 폴리라인으로 구성되어 있으므로 노드 점과 변(edge 또는 line)으로 구성되는 도로를 교차로와 주요 분기점에 따라 구분한 별도의 폴리라인으로 저장한 뒤, 이러한 편집된 파일을 shape 파일로 변환하여 우회도나 접근도 계산에 이용할 수 있는 기본 데이터로 사용하는 방법도 가능하다.

그림 2의 (A)와 (B)는 각각 원시 데이터와 편집 데이터를 비교한 것이다. 원시 데이터에서는 노드의 개념은 존재하지 않고 폴리라인의 형태로 데이터가 구축되어 있으며, 편집 과정에서 각 변을 노드에서 절단하여 별도의 그래프의 형태로 나타내게 된다. 한편 노드 레이어는 본 프로그램 수행시에 도로망 레이어를 선택하면 자동으로 분석 구역내에 포함된 각 노드 점을 찾아 포인트 속성을 가지는 shape 파일로 생성하도록 하였다.

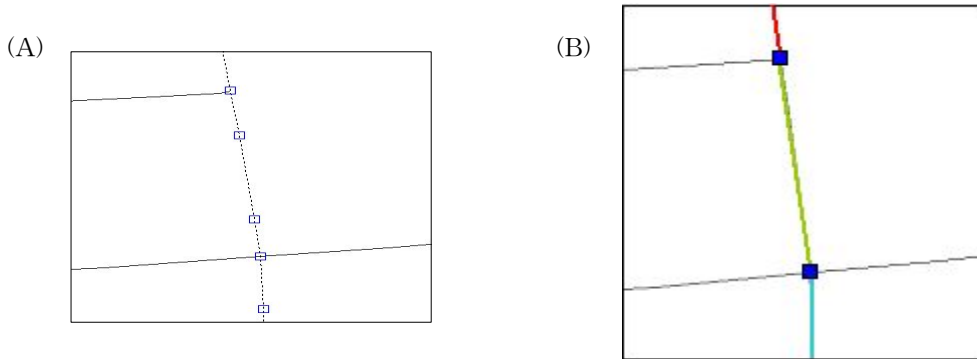


FIGURE 2. Road centerline layer with vertices and nodes (A), and graph-type road network composed of nodes (B)

### 우회도와 접근도의 구현

본 연구에서 우회도와 접근도 분석 목적의 응용 프로그램은 ArcView 3.2a의 개발언어인 AvenueTM를 이용하여 구현하였으며, 실행 프로그램은 AVX 형식으로 컴파일된 extension으로 일반적인 활용이 가능하도록 하였다. 본 프로그램의 구현시에 ESRI Network Analysis Extension이 필요하나, 실행시에 Network Analysis Extension을 직접 이용할 필요는 없으며, 내부적으로 findpath 메소드만을 이용한다.

그림 3은 응용 프로그램의 사용자 인터페이스와 입력 대화창 및 일부 화면 처리 결과를 나타낸다. 사용자 대화 창에서는 road layer와 admin layer와 같은 두 가지 유형의 입력 데이터를 필요로 하는데(Step 1), road layer는 도로 중심선 선형 레이어를, admin layer는 행정 구역의 경계를 나타내는 다각형 레이어를 사용하도록 하였다. 그림 3에 제시된 데이터는 경기도 구리시의 일부 지역이며 시험적으로 1:25,000 축척의 수치지도를 사용하였다.

프로그램의 실행시에는 데이터 구축 보다는 분석에 비중을 두었기 때문에 별도의 데이터베이스 구축 단계가 요구되지는 않으나, 앞에서 설명한 그래프 형으로 편집된 도로 중심선 레

이어에서 각각의 폴리라인 피처를 선분(line segment) 요소로 제작한 경우에는 분석 대상 구역내의 모든 포인트 피처는 노드로 인식된다(그림 1(A)). 즉, 도로망 레이어 구축시에 시작점과 종료점은 자동으로 노드로 추출되는데, 우회도 계산시에는 실제 거리 값이 이용되므로 기준 좌표계에 따라 도형의 입력이 이루어져야 한다. 한편 그림 4와 같이 여러 개의 정점과 노드로 이루어진 다중 선형으로 이루어지는 도로 망(그림 4)을 분석하고자 하는 경우에는 레이어 편집 단계에서 노드를 지정함으로써 우회도나 접근도의 계산이 가능하다.

분석 구역의 선택(Step 2)은 특정한 행정 구역 전체를 분석 대상지역을 하는 경우, 사각형의 임의의 구역을 설정하는 경우, 또는 마우스 입력을 통한 임의의 다각형을 분석 구역으로 선택하는 방식등과 같이 세 가지 방식을 제공한다. Step 3은 Step 2에서 선택된 분석 구역내의 노드를 자동으로 추출하는 단계이며, 이 때 추출된 노드 데이터는 별도의 노드 레이어로 작성된다. 한편 노드의 위치를 바로 확인할 수 있도록 구역내의 노드 레이블을 자동으로 나타나도록 하였다. Step 4는 두 단계 방식의 우회도 처리를 지원하는 데, 임의의 특정한 노드를 대상으로 이에 대한 우회도를 얻고자

하는 경우에는 Step 4-1에서, 표 1과 같이 분석 구역내의 전체 노드에 대한 우회도 행렬이나 접근도 행렬을 구하고자 하는 경우는 Step 4-2 단계에서 수행되도록 하였다.

그림 5는 그림 3의 Step 4-2 단계를 수행한 결과로서, (A)와 (B)의 경우는 각각 임의로 설정된 분석 구역을 구성하는 개별 노드에 대하여 정규화된 우회도 행렬과 우회도 계산결과를 나타내고 있다. 여기서 정규화된 행렬은 ‘show circuity matrix’ 도구 선택에 의하여 분석 구역내에서 나타난 우회도의 최대 값으로 각각의 계산 결과치를 나누어 준 결과이며, 분석 구역내에 존재하는 노드들에 대한 실제 계산 결과는 ‘show circuity result’ 도구를 선택하여 얻

을 수 있다.

특정 노드에 대하여 우회도 값이 크다는 의미는 구역내의 노드로부터 접근이 용이하지 못하다는 의미로 해석될 수 있으며, 도로 계획이나 도시 계획의 사전 조사 단계에서 목적에 맞게 정의된 교통 노드 지점들의 상호 관계 및 경로 산정에 이용이 가능한 정량적 지수로 이용할 수 있다. 그림 6의 (A)와 (B)는 각각 그림 3의 Step 4-2 단계에서 ‘Show Network Connectivity Matrix’와 ‘Show Network Accessibility Matrix’ 도구를 선택한 결과를 나타내며, 그림 5(A)는 [C1]을, 그림 5(B)는 [A]를 계산한 결과이다.

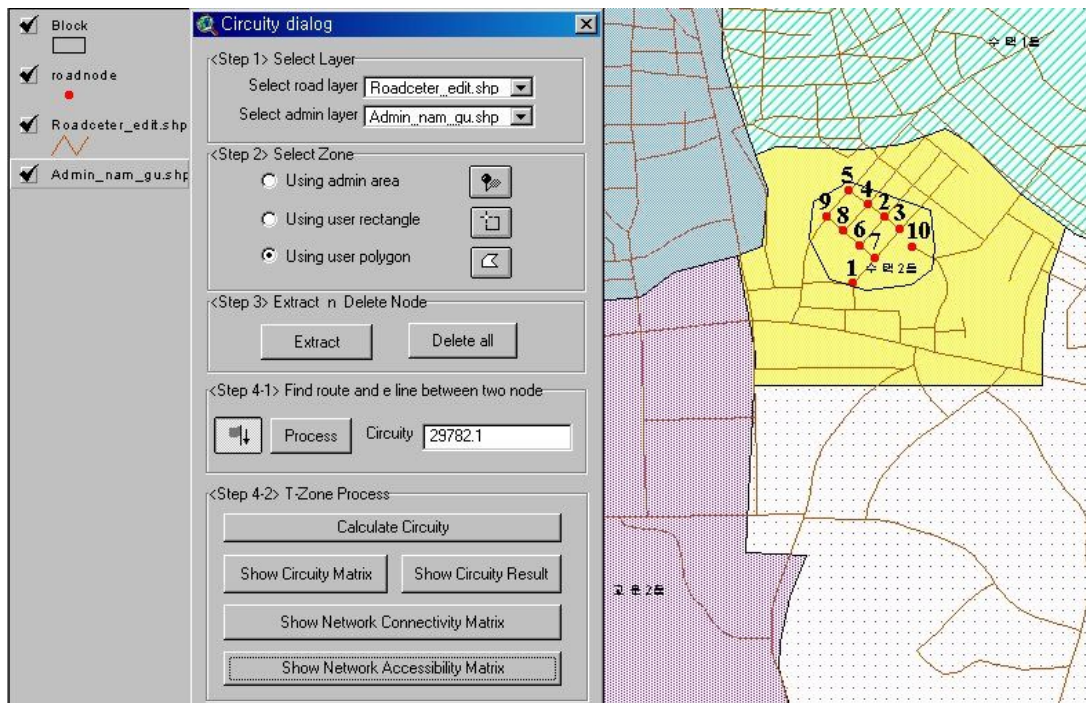


FIGURE 3. User interface of application program and processing steps: <Step 1> Input layers of road centerline and administrative boundary, <Step 2> Selection of analysis zone, <Step 3> Automatic extraction of nodes within the analysis zone, <Step 4-1> Calculation of circuity value at a node in the analysis zone, <Step 4-2> Calculation of circuity, connectivity, and accessibility of the whole nodes in the analysis zone and their representation in the matrix form

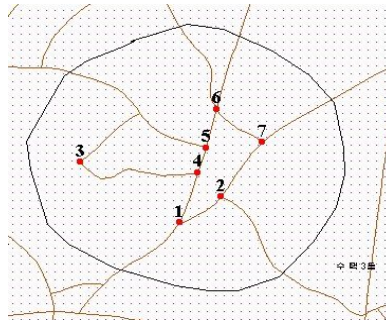


FIGURE 4. Graph-typed road network data with multiple polyline features

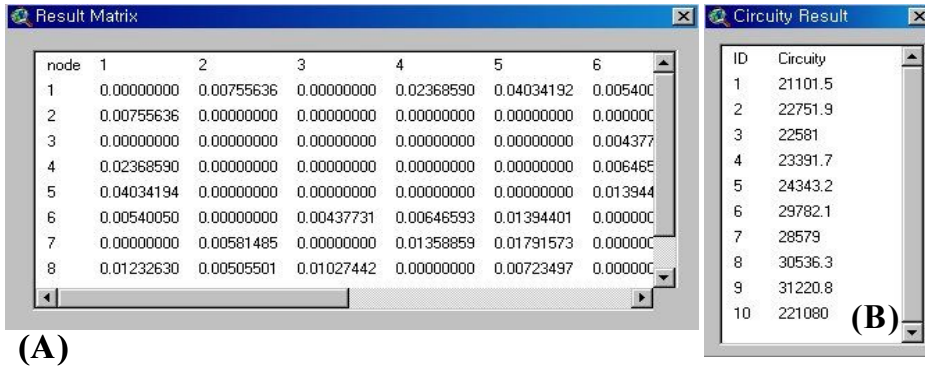


FIGURE 5. Processing results of <Step 4-2> in Figure. 3: (A) Normalized circuitry matrix, (B) Circuitry values of the whole nodes in the analysis zone, represented as actual distance

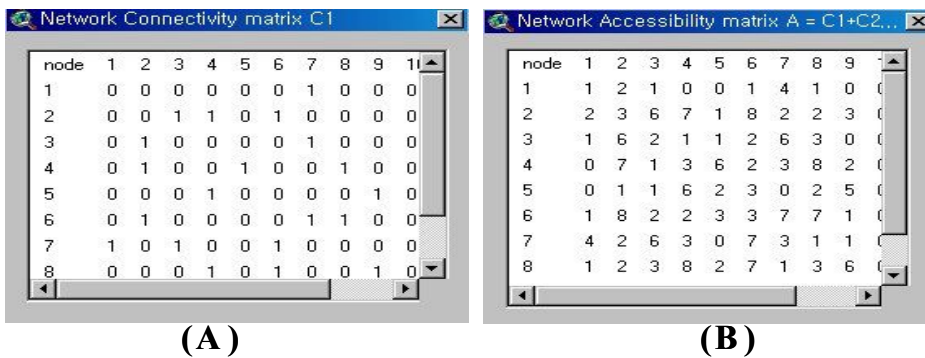


FIGURE 6. Processing results of <Step 4-2> in Figure. 3: (A) Network connectivity matrix for [C1], (B) Network accessibility matrix for [A] with respect to the whole nodes in the analysis zone



그림 6에 나타난 접근도는 우회도 산정에 이용된 같은 도로 그래프 망 구조하에서 노드들 간의 직접적인 상호 연결성을 나타내는 연결도 행렬식을 가지고 계산한 행렬 계산 결과로서 앞에서 얻어진 우회도와 같은 목적으로 해석이 가능한 지수정보이다.

## 결 론

본 연구에서는 임의로 설정된 분석 구역의 도로망이나 교통망으로부터 그래프 형의 망 구조에 대한 특성을 정량적으로 표현하기 위한 방법을 다루고자 하였다. 우회도와 접근도는 교통지리학에서 다루는 주요한 기본 개념이며, 각각 분석 구역내 존재하는 도로망 노드의 지위에 대한 분석과 분석 구역의 망 구조를 구성하는 모든 노드를 대상으로 하여 각각 노드들 간의 연결 상태 및 접근의 용이성을 분석하도록 하는 목적으로 제안된 기법이다. 본 연구에서는 이러한 계량 지수정보의 자동 산정을 위한 응용 프로그램을 ArcView 3.2a의 개발언어인 AvenueTM를 이용하여, AVX 형식의 실행 프로그램으로 개발하였다.

본 프로그램은 복잡한 교통 데이터베이스 정보에 기반하지 않고 수치지도로부터 직접 추출이 가능한 도로 중심선 레이어와 행정 구역 경계 레이어와 같은 두 가지 레이어만을 기본 데이터로 사용할 수 있도록 설계하였다. 특히 도로망 레이어의 경우 일반적인 CAD 포맷이나 shape 파일 포맷의 기본 데이터에 대하여 노드의 지정과 같은 간단한 부가적인 편집작업으로 도로망 그래프를 구성한 뒤에 적용이 가능하다. 행정 경계를 대상으로 하거나, 사용자가 설정하는 임의의 구역을 대상으로 하여 얻어진 결과는 교통 데이터베이스 정보등과 통합적으로 분석되어 세부적인 도로 설계나 도시 교통 계획등과 같은 실무적인 응용이 가능할 것으로 생각된다. 한편 도로망 그래프에 기반하는 교통지리학적 분석방법 중에서 일부를 구

현한 본 연구와 같은 시도는 향후에도 GIS 분야와 기타 세부적인 활용 분야를 연계시키는 측면에서 의의가 있다고 생각한다. [KAGIS](http://www.kagis.com)

## 참고 문헌

- 이기원, 오세경, 이봉규. 2003. 위성영상정보를 이용한 중력모델 기반 접근성 지수 추출 연계 및 적용. 한국지리정보학회지 6(3):61-72.
- 임용택, 임강원. 2003. 교통망분석론. 서울대학교 출판부. 542쪽.
- 최봉문, 김항집, 서동조. 1999. 도시정보와 GIS. 대왕사. 352쪽.
- 한주성. 1996. 교통지리학. 법문사. 438쪽.
- Chou, Y.H. 1997. Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems. Onwards Press. 452pp.
- Easa, S. and Y. Chan (ed). 2000. Urban Planning and Development Applications of GIS. ASCE. 283pp.
- Heipke, C. 2004. Some requirements for geographic information systems: A photogrammetric point of view. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 70(2):185-195.
- Hoyle, B. and R. Knowles. 2000. Modern Transport Geography, 2nd ed. Wiley. 362pp.
- Lang, K. 1999. Transportation GIS. ESRI Press. 118pp.
- Lee, J. and D.W.S. Wong. 2001. Statistical Analysis with ArcView GIS. John Wiley and Sons. 216pp.
- Lee, K. 2002. Extraction of some transportation reference planning indices using high-resolution satellite imagery. Korean Journal of Remote Sensing 18(5):263-271.

- Lee, K. 2004. Road network characterizing indices on geo-spatial imagery for urban transportation analysis. Korean Journal of Remote Sensing. (To be submitted).
- Lee, K. and S.K. Oh. 2003. Application of quantitative indices for urban environment analysis in the consideration of remote sensed imagery: Accessibility and connectivity. ACRS-ISRS 2003 Proceedings.
- Ma, M.L. and L.S.C. Pun-Cheng. 2000. The Study of Accessibility Indices in Transportation Planning by using Geographic Information Systems. URISA Conference.
- Miller, H.J. and S.L. Shaw. 2001. Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T): Principles and Application. Oxford University Press. 458pp.
- Ormsby, T. and J. Alvi. 1999. Extending ArcView GIS: with Network Analyst, Spatial Analyst and 3D Analyst. ESRI Press. 527pp. [KAGIS](#)