서비스수준을 고려한 통행배정모형과 GIS기법 개발에 대한 연구

A Study of LOS Traffic Models and GIS-based Methods for Traffic Models Application

이 경 소*, 박 창 호**, 전 경 수***, 이 성 모****

(* 서울대학교 도시공학과 석사과정)

(** 서울대학교 도시공학과 교수)

(*** 서울대학교 도시공학과 교수)

(**** 서울대학교 도시공학과)

목차

Ⅰ. 서론

Ⅱ. 기존연구 고찰

1. 외국 연구

2. 국내 연구

Ⅲ 통행배정 모형 및 기법

1. 통행배정모형의 종류

2. 이용자최적평형원칙

3. 기본적 가정

4. GIS 기법

Ⅴ. 모형의 구축

1. 통행배정 모형

2. 최단경로 알고리즘

Ⅵ. 모형의 개발 및 적용

1. GIS 데이터 변환

2. 통행배정모형

Ⅶ. 결론 및 향후과제

참고문헌

Ⅰ. 서론

교통계획 과정 중에서 교통수요를 예측하는 소프트웨어 패키지들은 정책결정자에게 교통투자와 계획을 결정하는데 많은 기여를 하고 있으나, 실제적으로 여러 문제점을 내포하고 있다. 첫째, 존의 경계의 변경이나 사회경제적 자료의 일부변경으로 인한 자료의 수정이 비효율적이며, 둘째, 패키지를 다루고 그 결과를 분석하는데는 전문가적인 지식과 식견을 필요로 한다.

그 동안 이에 대한 해결책으로서 GIS를 이용한 접근법들이 제시되곤 하였다. 본 연구에서는 GIS를 이용한 통행배정에 있어서 도로의 서비스수준을 고려하는 방안에 대해 살펴보고 GIS가 교통모형에 적용되기 위한 방안에 대해서도 살펴보도록 한다.

Ⅱ. 기존연구 고찰

1. 외국 연구

H. Miller (1996)는 GIS를 이용하여 기존의 4단계의 비수렴성, 오차 전파(propagation)의 문제, 불일치성 등의 문제를 해소하고 네트워크-평형기반 통행예측모형을 효과적으로 구축하였다. 그리고 무엇보다도 교통수단을 하나의 데이터베이스 디자인으로 통합함으로써 데이터를 업데이트한 후의 데이터의 일관성뿐만 아니라 효과적으로 교통수단별 속성을 표현할 수 있는 혁신적인 방안을 제시하였다.

T. Israelsen *et al.*은 교통모형이 기존 GIS 위상관계보다 더 복잡한 위상관계를 요구한다고 지적하고 GIS가 교통모형 알고리즘과 상호 작용할 수 있는 방안에 대해 연구하였다.

2. 국내 연구

양인태, 최영재 (1993)는 "교통계획모형에 있어서 GSIS의 적용기법"에서 GIS 데이터베이스를 이용하여 TRANPLAN를 수행한 후 그 결과를 매크로 언어를 이용하여 다시 GIS 툴인 Geovision에 입력시킨 후, 이를 이용하여 링크별 교통량, V/C 비등을 가시화하는 기법에 대해 고찰하였다. 그럼으로써 GIS가 교통현상을 시각적으로 표현하여 교통현상의 이해와 상대적인 비교판단에 매우 효과적임을 제시하였다. 김대호, 박진우 (1993)는 "교통모형에서의 지리정보시스템 활용방안에 관한 연구"에서 교통수요예측을 위한 사전작업으로서의 비효율적 작업 (노드와 노드간의 부정확한 거리계산)을 보완하였다. 교통모형으로 SDI 모형을, GIS 툴로는 PC ARC/INFO 3.4D를 사용하였고, 두 시스템간의 연결성을 강화하였다. 나기준 (1994)은 "교통모형의 GIS화를 통한 교통정보제공에 관한 연구"에서 박진우의 연구를 더욱 진행시켜 GIS를 이용한 교통정보제공 방안에 대해 고찰하였다. 최기주 (1994)는 "Vector GIS를 이용한 교통 zone체계 알고리즘 개발방안에 관한 연구"에서 공간 쪈 분할 및 재구성 체계의 과정 및 결정기법을 살펴보고 벡터형 GIS의 위상관계자료를 이용한 교통 쪈체계의 재설정 방법을 제시하여 교통계획상의 쪈체계 구성의 변화를 연구하였다. 김동문 (1996)은 "교통영향평가를 위한 GIS의 적용기법"에서 춘천시 석사공원 조성에 따른 교통영향평가서를 바탕으로 도로망과 토지이용도의 중첩, 사업시행 후 교차로의 서비스수준의 변화, 버퍼링한 도로망과 토지이용도 중첩 등을 통하여 그래픽과의 유기적 결합가능성을 모색하고 평가의 합리성을 높여 의사결정자로 하여금 동적이고 포괄적인 예측을 가능토록 하였다.

III. 통행배정 모형 및 기법

1. 통행배정모형의 종류

통행배정은 기종점간 통행량에서 가로구간에 부하되는 교통량을 예측하는 과정으로, 이는 다른 측면에서 보면 통행자의 경로선택에 따른 행태적 측면을 의미한다고 할 수 있다. 통행배정모형은 통행자들이 용량제약 및 혼잡효과에 따른 통행비용차이에 의해 노선을 선택한다는 결정론적인 모형과 비용에 대한 인식수준의 차이로 노선 선택을 다르게 한다는 확률론적인 모형으로 크게 구분할 수 있다. 또한 용량제약 및 통행량의 변화에 따른 통행시간의 변화를 고려하느냐에 따라 직관적 방법(Heuristic Approach)과 체계적 방법(Systematic Approach)으로 나뉜다.

한편 이러한 연구들은 교통류의 시변적 특성이 포함되어 있지 않아 이를 정적 통행배정모형이라 하는데, 최근에는 여기에 통행수요와 통행비용이 시공간적으로 변화하는 혼잡한 네트워크에서 교통류 패턴의 일시적 전개를 예측할 수 있는 동적 통행배정기법이 개발되고 있다.

2. 이용자최적평형원칙

통행배정 모형 중 이용자 최적평형원칙에 의한 통행배정의 수학적 모형을 살펴보면 다음과 같다.

$$\min \mathbf{Z} = \sum_a \int_0^{V_a} S_a(x)dx$$

$$\text{s.t. } \sum T_{ij}^r = T_{ij}, \text{ for } i = 1 \text{ to } N, j = 1 \text{ to } N$$

$$T_{ij}^r \geq 0, \quad V_a = \sum\sum\sum \delta_{ij}^{ra} T_{ij}^r$$

여기서 $S_a(V_a)$: 링크용량저항함수

V_a: 링크 a의 통행량

T_{ij}^r: i에서 j로의 경로 r을 이용하는 통행량

T_{ij}: i에서 j로 가는 모든 통행량

$\delta_{ij}^{ra} = 1$: 링크 a가 ij간의 경로 r상에 포함될 경우

0: 그렇지 않을 경우

이용자최적평형원칙에 기반한 통행배정모형은 그 해의 풀이에 있어서 동등성(equivalency)과 유일성(uniqueness)이 증명되어 현재 대부분의 교통계획 패키지에 포함되어 있다.

3. 기본적 가정

기존의 많은 통행배정모형은 도로망의 각 링크의 통행시간을 위주로 최단경로를 탐색하였다. 이는 경제학적 관점에서 최소비용으로 최대효용을 얻는다는 가정이 내재되어 있다. 비용은 통행시간과 주행거리에 관한 함수로 구성될 수 있다.

$$C_{ij} = \sum_a \delta_{ij}^a \left(\alpha t_a + \beta L_a\right)$$

통행시간은 링크의 부하되는 교통량이 증가함에 따라 단조 증가한다고 가정한다. 교통량과 통행시간의 관계를 나타낸 식 중에 BPR식이 여러 문제점에도 불구하고 그 사용의 간편성으로 인해 아직도 많이 사용되고 있다.

4. GIS 기법

통행배정에 이용될 GIS 모형은 위상모형으로 정의된다. 위상(topology)이란 공간관계를 명확히 정의하기 위해 사용하는 수학적 방법이다. GIS의 위상관계는 다음의 요건을 충족해야 한다.

① 연결성(connectivity): 아크-노드의 위상적 개념으로서 arc-node topology라고 한다. 이 모형은 네트워크를 통과하는 교통류를 조사할 때 이용된다.

② 인접성(contiguity): 모든 아크는 방향성을 갖고 있어 좌우의 폴리곤에 의해 서로의 인접관계를 알 수 있다. 이를 left-right topology라고 한다.

③ 영역의 정의(Area Definition): 폴리곤을 구성하는 아크들을 저장하여 폴리곤의 면적을 결정하게 되는데 이를 polygon-arc topology라고 한다.

교통부문에서의 GIS는 벡터형 자료를 이용하는 경우가 대부분이다. 벡터형 자료는 점, 선, 면의 위치와 길이 및 면적을 정확하게 표현하는 방식이다. 그러나 일반적으로 교통부문에서 공간자료 및 속성자료는 기존의 다른 분야보다 더 복잡하고 구체적인 데이터를 요구한다. 공간자료로서는 네트워크 분석을 위해서 링크, 노드, 속성자료로는 turns, stops, centers의 5가지 요소가 필요하다. 기존의 GIS에서는 도로의 특성을 길이, 구배, 차선수, 폭원, 보도유무 정도의 수준에서 표현하면 되지만 교통에서는 기하학적 특성과 더불어 링크별·차로별 특성(속도, 교통량, 밀도 등), 접속 교차로의 기하구조, 교차로의 신호주기 등 보다 구체적인 데이터가 요구된다.

또한 가변차선 유무, 도로포장 상태 등 하나의 아크 상에 여러 속성이 존재하기도 한다. 이런 경우에는 동적절편법(Dynamic Segmentation)을 이용하면 효율적이다.

IV. 모형의 구축

본 연구에서는 통행시간을 고려한 통행배정모형의 결과를 분석하여 각 링크의 LOS를 파악한 후 새롭게 통행배정을 실시하였다.

그러나 현실세계에서는 통행시간뿐만 아니라 여러 비경제적인 요건도 통행경로결정에 영향을 미친다. 도로 선형, 도로주변의 미관적 환경 등 경제적으로 평가하기 어려운 변수들도 개인의 경로선택에 영향을 미친다. 그러나 이러한 변수들은 측정하기 곤란하기 때문에, 많은 모형에서 모형에 포함시키기 곤란하였다.

1. 통행배정 모형

이용자최적 평형원칙에 기반한 통행배정모형을 다음과 같이 수정하여 링크의 서비스 수준이 이용자의 경로선택에 영향을 미치도록 반영한다.

본 연구에서는 우선적으로 각 링크의 서비스 수준을 개인이 느끼는 사회적 편익을 간접적으로 추정할 수 있는 변수로 가정하고, 각 링크의 서비스 수준을 판별한 후 이를 경로선택에 반영함으로써 사회 전체적으로 통행시간뿐만 아니라 통행에서 얻는 편익도 고려하고자 한다.

$$\min \mathbf{Z} = \sum_a \int_0^{V_a} \theta_a(x)dx$$

$$\theta_a(x) = \alpha S_a(x) + \lambda \frac{x}{C_a}$$

$$\alpha = 1 - \lambda$$

여기서, α: 통행시간에 대한 평균 민감도

λ: 서비스수준에 대한 평균 민감도

C_a: 링크의 용량

위의 통행배정모형은 거시적 모형으로서 각 개인의 통행시간과 서비스수준에 대한 민감도를 개별적으로 산정하지 않는다. 이는 각 개인의 서비스수준에 대한 경로선택의 민감도의 평균으로 한다.

$$\lambda = \frac{\sum_i^N \lambda_i}{N} \quad 0 \le \lambda_i \le 1$$

λ_i가 0이면 개인은 통행시간의 최소화만을 목

표로 주행경로를 선택하게 되고, λ_i가 1이면 통행시간의 최소화보다는 서비스수준이 높은 도로만을 주행하고자 하게 된다. 그러나 일반적인 개인의 경우 주어진 시간 내에 도착한다는 보장이 성립되지 않는 상황에서 오로지 서비스수준이 높은 도로로만 주행하려고 하진 않는다. 따라서 λ_i의 평균인 λ가 0.5를 초과하리라는 것은 비현실적이다. λ값은 SP조사와 같은 방법을 통해 얻을 수 있다.

출퇴근시간대의 경우에 이용자는 도로의 서비스 수준보다는 예상하는 시간 안에 목적지에 도착하고자 하는 기대가 높으므로, λ는 낮은 수치를 가질 것이며, 출퇴근시간대 이외에는 상대적으로 높은 수치를 가질 것이다. 본 연구에서는 λ를 0.3으로 가정하였다.

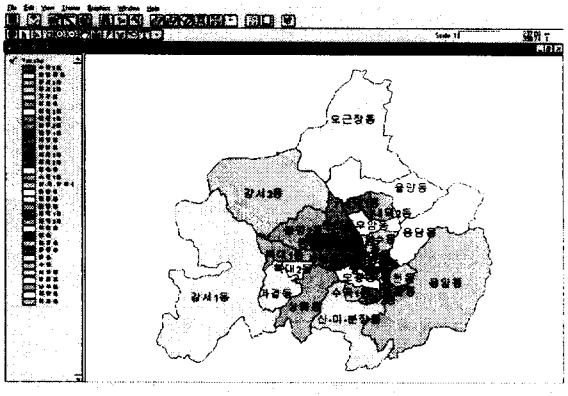
2. 최단경로 알고리즘

최단경로 알고리즘은 최소비용경로와 같이 간단히 어떤 결론을 산출하는 단계적인 순서이다. 출발지로부터 도착지점사이의 최소 비용경로를 찾는 방법의 하나는 그들 사이의 가능한 모든 경로를 조사하고 최소비용을 가진 경로를 선택하는 것이다.

최단경로탐색 알고리즘은 크게 수형망 알고리즘과 덩굴망 알고리즘으로 나뉜다. 수형망 최단경로 탐색 알고리즘은 여러 개가 존재하는데 Moore의 알고리즘이 예전부터 알려지고 있으나 일반적으로는 Dijkstra의 알고리즘이 효과적이라고 인정되고 있다.

V. 모형의 개발 및 적용

본 연구에서 GIS 툴로서 Arc/Info 7.2.1 버전을 사용하였으며 통행배정을 위해서 Visual C++를 개발 툴로 이용하였다. 통행배정을 위한 대상지역은 충청북도 청주시를 대상으로 하였다. <그림 1>은 청주시의 행정동 현황을 GIS 소프트웨어인 ArcView를 이용하여 가시화한 것이다.



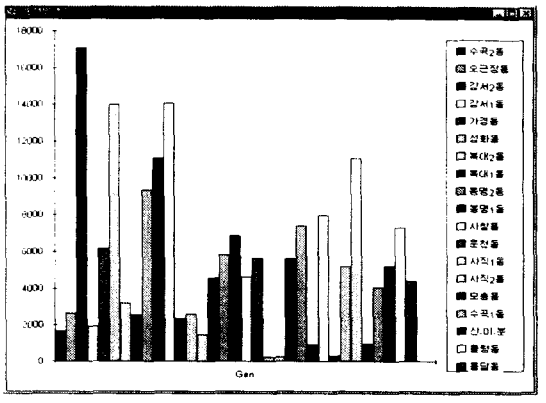
<그림 1 > 행정동 현황

통행배정을 위한 교통 존은 33개 행정동을 기준으로 하였으며 통행배분을 위한 O-D자료는 청주시통계연보에서 얻은 인구자료를 바탕으로 하였다. 각 죤의 인구를 바탕으로, 다양한 토지이용 관련 모형들 중의 하나인 Lowry 모형을 이용하여 죤의 통행 발생량과 통행 유입량을 산출하였다. 다음은 각 죤의 인구, 통행발생량, 통행유입량에 관한 Excel 시트이다.

NAME	AREA	PERIMETER	ZONE_ID	GEN	AT	POP
수곡2동	18664489.163	24937.67316	1	1685.000	1734.000	5203
오근장동	17050759.666	20234.47435	2	2649.000	1568.000	4627
강서2동	8416193.448	18556.20920	3	17113.000	14307.000	42902
강서1동	8535294.226	15999.65448	4	1946.000	1967.000	5901
가경동	30529403.878	38405.54981	5	6182.000	6116.000	18042
성화동	2557194.694	9207.75218	6	14019.000	9099.000	26838
복대2동	1294073.835	5498.61985	7	3222.000	5586.000	16750
복대1동	1549241.876	5243.73917	8	2569.000	5620.000	16845
봉명2동	4049540.385	11767.20182	9	9348.000	8740.000	25781
봉명1동	1851223.736	7524.78441	10	11078.000	6710.000	20117
사창동	23903354.019	27525.97304	11	14073.000	14276.000	42813
운천동	1141062.388	4753.97344	12	2362.000	2480.000	7439
사직1동	762343.742	3574.78305	13	2610.000	4636.000	13668
사직2동	531143.243	3352.27163	14	1484.000	1522.000	4493
모충동	1071388.170	5177.73382	15	4546.000	5239.000	15455
수곡1동	2416010.847	8890.40538	16	5817.000	4278.000	12618
산·미·분창동	1041808.051	5334.89301	17	6867.000	6973.000	20570
율량동	781560.987	4085.58417	18	4607.000	5259.000	15770
용담동	1162153.881	5704.49056	19	5649.000	6069.000	17758
율암동	195895.211	1877.39736	20	278.000	591.000	2066
내덕1동	283201.446	2282.26028	21	272.000	753.000	1895
내덕2동	3627474.718	9111.20457	22	5616.000	5942.000	17529
우암동	907007.426	4556.24879	23	7407.000	9787.000	28870
탑동	241086.154	2006.28229	24	962.000	1214.000	3643
금천동	1280068.188	5647.81432	25	7986.000	8028.000	24074
영운동	152096.699	1561.74477	26	366.000	641.000	2243
형동	5851009.170	14384.74664	27	5184.000	5338.000	15748
수동	1616496.086	6474.68946	28	11078.000	9003.000	26549
서문동	276074.000	2625.26670	29	978.000	1295.000	3885
문화동	8656936.096	21493.44632	30	4072.000	3760.000	11092
남주동	801939.893	4327.65935	31	5238.000	5167.000	15499
서운동	998537.909	4453.40143	32	7290.000	8078.000	23835
석교동	489745.838	2943.24871	33	4412.000	7171.000	21159

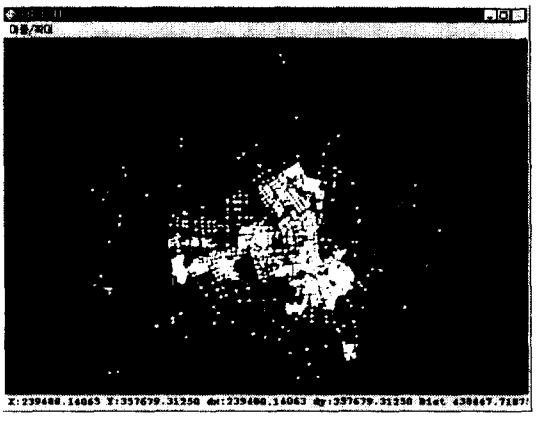
<그림 2> 교통 죤의 인구 및 통행량

또한 <그림 3>은 대표적으로 각 행정구역의 통행발생량을 ArcView의 차트기능을 이용하여 가시화한 화면이다.



<그림 3> 통행발생량 차트

또한 청주시의 네트워크는 다음과 같다.



<그림 4> 청주시 도로망

1. GIS 데이터 변환

Arc/Info의 매크로 언어인 AML(Arc/Info Macro Language)를 이용하여 순차적으로 작업이 가능하도록 하였다.

링크와 노드의 속성은 Arc/Info 내에 AAT(Arc Attribute Table)과 NAT(Node Attribute Table)로 정보를 갖고 있다. 노드 속성은 통행배정을 위해서 직접적으로 이용되지는 않지만, 교차로 용량, 회전제한 등의 속성을 반영하도록 고려해야한다.

아래 <그림 5>은 링크속성테이블인 **NTWK.AAT**에 저장되어 있는 정보를 보여준다.

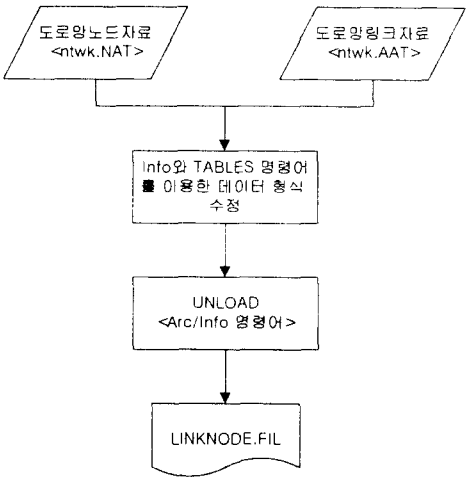
Arc: items ntwk.aat

COLUMN	ITEM NAME	WIDTH	OUTPUT	TYPE	N.DEC	ALTERNATE NAME	INDEXED?
1	FNODE#	4	5	B	-		-
5	TNODE#	4	5	B	-		-
9	LPOLY#	4	5	B	-		-
13	RPOLY#	4	5	B	-		-
17	LENGTH	8	18	F	5		-
25	NTWK#	4	5	B	-		-
29	NTWK-ID	4	5	B	-		-
33	FNAME	30	30	C	-		-
63	IDS	4	12	B	-		-
67	SPEED	6	5	I	-		-
73	CAPACITY	6	5	I	-		-
79	DIRECTION	4	5	B	-		-
83	COST	4	12	F	3		-
87	LENGTH-KM	4	12	F	3		-
91	A	5	5	I	-		-
96	B	5	5	I	-		-
101	MSLINK	31	31	C	-		-
132	ENO	4	3	B	-		-
136	COD	4	3	B	-		-
140	LVL	4	3	B	-		-
144	RYU	4	3	B	-		-
148	NUM	3	3	C	-		-
151	WITH	4	4	B	-		-
155	FUNC	4	4	B	-		-
159	LENGTH_M	8	8	F	0		-
167	CHECK	1	1	I	-		-

<그림 5> ntwk.aat의 아이템 정보

이 정보를 Arc/Info의 TABLE 명령어를 이용하여 통합한 후, UNLOAD 명령어를 이용하여 ASCII 파일로 저장한다.

이를 도식화하면 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 데이터 변환 흐름도

2. 통행배정모형

C++ language를 이용하여 통행배정을 시행하였다. 초기값을 결정하기 위하여 서비스수준에 대한 민감도(λ)를 0으로 설정하고 통행배정을 시행한다. 이용자최적 평형원칙에 따른 통행배정은 몇 번의 반복연산을 통해 해로 수렴한다. 일단 해가 수렴되면 다시 서비스수준을 반영하는 과정을 거친다. 최종적으로 링크에 걸린 교통량과 V/C비는 다음과 같다.

<그림 7> 링크별 교통량 가시화

VI. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 통행배정모형을 GIS의 다양한 기능을 이용하여 개발함으로써 GIS의 교통부문 활용방안에 대해 살펴보았다. 첫째, 링크의 길이를 쉽고 정확하게 반영하여 통행시간함수의 정확성을 높이고, 통행배정의 결과물인 링크의 LOS를 가시화하고 이를 다시 통행배정에 반영하는 시도를 해봄으로써 도로의 서비스 수준도 운전자들의 경로선택에 영향을 미친다고 가정하고 이를 통행배정모형에 반영하였다.

기존의 교통계획 패키지를 이용하지 않고, 데이터베이스 관리를 위한 툴로도 탁월한 GIS를 이용하여 모형을 구현하였다.

향후과제로는 링크속성뿐만 아니라 노드속성도 통행배정에 고려할 수 있도록 하는 방안에 대한 모색이 필요하다. 또한 제시된 서비스수준에 대한 민감도의 정확한 의미와 분석이 요구된다. 평형기반 모형의 특징인 동등성(equivalency) 조건과 유일성(uniqueness) 조건도 살펴보아야 할 것이다.

참고문헌

1. 양인태, 최영재, *교통계획모형에 있어서 GSIS의 적용기법*, 한국지형공간정보학회논문집, 제1권 제2호, 1993
2. 박진우, *교통모형과 지리정보시스템의 통합방안에 관한 연구*, 홍익대 학위논문, 1993
3. 이성관, *토지이용을 고려한 교통모형의 응용에 관한 연구*, 서울대 학위논문, 1998
4. 나기준, *교통모형의 GIS化를 통한 교통정보제공에 관한 연구*, 홍익대 학위논문, 1994
5. 박형근, *GIS를 이용한 도로교통용량에 따른 최적경로 선정*, 강원대 학위논문, 1997
6. 최재훈, *통행배정기법의 적용성 평가:忠北道內 主要 都市를 중심으로*, 충북대 학위논문, 1998
7. 이종달, *교통영향평가에 있어서 GIS 기법의 적용*, 영남대 학위논문, 1996
8. C. Wartian, S. Gandhi, *Transportation Model Network Interface with Geographic Index Database System*, GIS/LIS, 1994
9. G. Aifandopoulou *et al.*, *ETIS: A GIS technology based toolfor supporting strategic environmentally friendly planning of urban transport infrastructure development*, ESRI User Conference, 1995
10. D. Hamilton, *Analysis of Road Network Accessibility*, ESRI User Conference, 1997
11. T. Israelsen *et al.*, *GIS-based Methods for Establishing the Data Foundation for Traffic Models*, ESRI User Conference, 1997