

GIS를 이용한 도시계획 모형

(A GIS-based Land Use and Transportation Forecasting Model)

오 승*, 강승림**, 이경소***, 김창호****

(Seung Oh*, SeungLim Kang**, KyungSo Lee***, Tschangho Kim****)

초 록

본 논문에서는 GIS를 이용하여 통합도시계획 모형을 정립하고 구현한 과정을 기술한다. 본 통합도시계획모형은 현재 시점에서 도시가 갖는 구조를 바탕으로 분석을 위한 계획존을 생성하고, 생성된 계획존들에서 발생할 수 있는 미래의 토지이용과 교통상황을 예측하여 그 결과를 전자지도와 그래프에 표현하는 과정들을 포함하고 있다. 이는 기존의 수작업으로 진행되던 계획을 위한 분석과정을 체계적으로 계량화함으로써 자동화된 분석을 통해 여러 가지 상황에서 미래의 상황을 예측해 볼 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 본 도시계획통합모형을 정립하고 구현하는 과정을 통해 얻어진 연구경험과 지식을 토대로 앞으로 개발방향과 모형의 발전방향에 대해 기술한다.

키 워 드

GIS, 도시계획, 교통계획, 토지이용, 통합도시 계획모형, 계획분석존(PAZ)

† 이 원고는 과학기술부의 국가 GIS 기술개발사업 과제의 연구비 지원으로 이루어졌음

* 서울대학교 도시공학과, 준회원

** 서울대학교 도시공학과, 준회원

*** 서울대학교 도시공학과, 준회원

**** 서울대학교 공학연구소, 종신회원

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목표

도시의 형태 및 구조는 장래 도시화될 지역의 크기와 형태에 영향을 주는 토지이용과 교통활동에 의해 결정된다. 이는 현재의 도시구조를 바탕으로 미래 도시의 크기와 형태를 예측할 수 있다는 의미가 된다. 따라서 현재의 토지이용을 바탕으로 계획분석을 위한 존을 설정하여 여기에 사회·경제적 요인 및 교통요인을 고려함으로써 미래의 계획분석존이 가지는 토지이용을 예측할 수 있게 된다.

본 연구의 목표는 이러한 토지이용과 교통활동을 하나로 묶어 도시내 토지이용의 변화와 교통여건의 변화가 미래 도시의 토지이용과 교통에 어떠한 영향을 미치는가를 GIS(Geographic Information Systems)와 연계하여 계량적으로 측정하고 분석한 후, 그 결과를 전자지도와 그래프 등에 표현함으로써 도시계획 실무자가 도시개발계획을 수립시 의사결정과정에 사용할 수 있는 통합 도시계획 모형을 정립하고 구현하는 것이다. 이를 위해

첫째, GIS를 이용하여 PAZ(Planning Analysis Zone: 계획분석존) 모형을 개발하고,

둘째, 계획분석존 단위의 토지이용계획모형을 개발하며,

셋째, 이러한 토지이용이 교통에 미치는 영향

을 분석할 수 있는 교통계획모형을 포함시켜 토지이용과 교통계획 모형을 하나로 통합하였다.

본 연구에서 개발된 모형은 도시계획 관련 부서에서 도시계획 업무와 정책대안 분석 업무를 수행시 효율성을 증대시키고, 정책결정자의 의사결정과정에 유용하게 사용될 수 있다.

1.2 연구수행 방법

본 연구를 수행하기 위해 접근한 방법을 정리하면 다음과 같다.

1) 세계 유수의 도시계획모형 분석

전 세계 약 20여 개의 도시계획 모형들을 분석하고 그 모형들의 특성과 배경이론 그리고 실제 적용시의 적합성 등을 모색하였다.

2) LUTGIS 모형 분석

미국 Illinois대학의 Expert Planning Information Systems Laboratory에서 개발한 Land Use and Transportation with GIS(LUTGIS)를 본 연구의 기본 모형으로 선정하여 그 모형의 구성 요소들을 세부적으로 분석하였다.

3) 행태적 Land Use 모형 정립 및 구현

도시계획지역의 토지를 어떤 용도로 이용하는 것이 소유자 또는 개발자의 이익을 최대로 할 수 있는지를 결정하기 위한 행태적 모형을 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 사용하여 정립하고 구현하였다.

4) 모형 적용도시 결정 및 기본도 확보

모형을 적용하기 위한 대상도시의 선정은 그 도시의 사회경제지표들을 포함한 속성 데이터와 공간 데이터를 획득하기에 용이한 도시들을 대상으로 검토하였다. 그리고 재정 자립도가 낮은 우리 나라 지자체의 현실을 고려하여 중소도시를 선정하여 SW 개발 완료시 그 도시에 우선적으로 적용하자는 취지로 도시를 선정하였는데, 시범도시로 선정된 청주시는 시 운영과 도

시계획에 GIS를 적극 활용하고 있고 시 전체의 대부분을 수치지도화하여 사용하고 있다.

5) 프로토타입 통합도시계획모형 설계

분석된 LUTGIS모형을 토대로 현재의 토지이용과 교통망 현황을 바탕으로 미래 계획년도의 고용, 주거 그리고 그로 인한 교통상황을 예측할 수 있는 시뮬레이션 모형을 설계하였다.

6) 개발 소프트웨어 설계

설계된 도시계획모형을 기능별로 분할하여 모듈화하고, 이들을 다시 GIS SW를 이용하여 구현할 부분과 교통계획 프로그램인 TRANPLAN을 이용하여 구현할 부분 그리고 프로그래밍 언어를 이용하여 구현할 부분으로 나누어 동시에 개별적으로 개발이 가능하도록 설계하였다.

7) 데이터베이스 설계 및 구축

설계된 모형을 운영하기 위해 필요한 데이터 요소들을 개별적으로 나열하고 불필요한 중복을 최대한 배제할 수 있도록 필수 요소들만을 선정하여 정리한 후 공간데이터와 속성데이터를 연계하여 설계하였다.

설계된 데이터베이스 스키마를 기반으로 청주시청, 청주시 지역 의료보험조합, 청주지방경찰청 그리고 청주시 도로교통안전협회의 협조를 받아 데이터를 수집하고 데이터베이스로 구축하였다.

8) 통합도시계획모형의 구현 - ARC/INFO, C

설계를 바탕으로 ARC/INFO의 구현언어인 AML(Arc Macro Language)과 C 프로그래밍 언어를 사용하여 모듈별로 구현하였다.

9) 운영체제상의 통합환경개발

구현된 개별 모듈들이 주 개발환경인 Microsoft Windows-NT에서 통합적으로 운영될 수 있도록 프로그래밍 언어인 Microsoft Visual Basic을 사용하여 통합환경을 개발하였다.

10) 프로토타입 통합도시계획모형 적용 및

테스트

위의 모든 과정을 거쳐 개발된 SW를 구축된 데이터베이스를 이용하여 적용하고, 거기에서 발견되는 문제점들과 버그들을 수정한 후 실제 적용결과들을 검토했다.

2. 문헌 고찰

2.1 토지이용모형과 교통모형의 통합에 관한 연구

오늘날 세계적으로 20여 개 정도의 지역에서 도시모형에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 이를 정리하면 다음과 같다.

1) 샌프란시스코 (San Francisco)

Prastacos에 의해 1986년 개발된 POLIS (Projective Optimization Land Use Informations System)는 랜덤유틸리티와 고용입지를 고려해 넣은 Lowry 모형의 복잡한 수학 프로그래밍 수식으로 이루어져 있다. Landis 에 의해 1992~93에 걸쳐 개발된 CUFM (the California Urban Futures Model)은 BASS (Goldner, 1971)모형을 계승하였으며, 이산적인 모형으로 GIS기술을 활용한 초기 도시모형 중의 하나이다.

2) 어바나 샴페인 (Urbana-Champaign)

일리노이 Urbana-Champaign의 토목공학과에서 Boyce 교수가 교통과 입지에 관한 비 선형 프로그래밍 모형을 개발했다 (Boyce, et al. 1983, 1985, 1986). Boyce 교수가 시카고로 옮겨간 이후로는 김창호 교수에 의해 시카고 지역의 상권이동을 고려한 교통과 입지에 관한 연구가 계속되었다.

3) 시카고 (Chicago)

노스웨스턴 대학의 Anas에 의해 주거, 토지 이용, 교통에 관한 모형이 만들어졌다. 또한 Buffalo로 떠나기전 CATLAS (Chicago Area Transportation and Land-Use Analysis

System)를 이용해 시카고 지역의 교통연구 (Anas 1983b, Anas and Duann 1985)를 수행하였다. 일리노이 Chicago의 도시교통연구소는 Boyce 교수를 중심으로 입지와 교통, 교통망 평형, 동적 노선안내체계 등 도시와 교통의 병렬 처리에 관한 연구를 수행하였다.

4) 버팔로 (Buffalo)

Buffalo의 New York 주립대학으로 옮긴후, Anas교수는 도시주거시장의 미시경제균형 모형 두 가지를 개발했다. 하나는 NYSIM (New York Area SIMulation Model)으로 정적인 교통요소를 담고 있으며, 또 다른 하나는 CPHMM (Chicago Prototype Housing Market Model)으로 동적이며 교통을 고려하지는 않는다 (Anas and Arnott, 1991). 역시 버팔로에 있는 '국제 지리정보 분석센터'의 Batty는 영국의 Reading과 Cardiff에서 자신이 수행했던 연구를 Buffalo에 적용하였다. 특히 여기서는 GIS기술을 이용하는데 중점을 두었다(Batty, 1992).

5) 캠브리지 (Cambridge, MA.)

HUDS (the Harvard Urban Development Simulation)는 Kain과 Apgar에 의해 1985년 재구성되었으며 마이크로 시뮬레이션 테크닉을 적용한 최초의 종합 도시모형이 되었다.

6) 뉴욕 (New York)

뉴욕 시립대학의 Norbert Oppenheim은 Logit 모형을 기초로 Equilibrium Activity Allocation 모형에 관해 지속적으로 연구하였다(Oppenheim, 1986, 1988, 1989).

7) 필라델피아 (Philadelphia)

Putman 교수의 모형화 작업(1983, 1991)은 도시 모형화에 있어 몇 안되는 성공사례에 속한다. ITLUP(Integrated Transportation and Land Use Package)에 Lowry 모형을 회귀적으로 적용하는 과정은 지난 20년동안 꾸준히 수정을 거듭해 왔으며 Putman 교수에 의해 미국뿐만 아

나라 해외를 포함해서 48개 도시지역에 적용되었다. 또한 다른 어느 모형보다도 실제로 정책을 결정하는데 많이 활용되었다.

8) 카라카스 (Caracas)

de la Barra는 라틴 아메리카에서는 최초로 Caracas에 도시모형을 위한 연구소를 설립했다. 그의 TRANUS (Transporte Y Uso del Suelo)라는 모형 (1984, 1989)은 몇몇 라틴 아메리카 도시에 적용되었으며 영국의 Milton Keynes 개방대학의 Rickaby와 함께 에너지 이용과 도시의 형태에 관한 시뮬레이션 모형에 적용되었다 (Rickaby, 1991).

9) 산티에고 (Santiago)

Martinez(1991, 1992a, 1992b)는 리옹 (Lyon)에서 열린 제6차 세계교통학회 (The Sixth World Conference of Transportation Research)에서 칠레의 Santiago에 적용한 그의 다섯 단계 토지이용-교통모형을 발표하였다.

10) 런던 (London)

Mackett은 당초 Leeds의 대도시지역을 위한 그의 Lowry모형에 기초한 LILT (Leeds Integrated Land-Use/Transport)라는 모형을 개발(Mackett 1983)하여 영국과 외국의 몇몇 도시에 적용했다 (Mackett 1990c, 1991a, 1991b).

11) 캠브리지 (Cambridge)

Echenique의 MEPLAN 모형은 다지역 입출력 기술 (Multiregional input output Tech.)의 일반화에 의해 만들어진 다양한 도시/지역 모형 중 최신의 모형이라 할 수 있다 (Echenique, et al. 1990, Hunt and Simmonds 1993). MAPLAN은 런던을 비롯하여 세계적으로 12개 이상의 도시지역에 적용되었다.

12) 스톡홀름 (Stockholm)

스톡홀름은 왕립기술연구소와 스톡홀름 지역 계획기관에 소속된 사람들의 기라성 같은 모임을 통해 도시모형 연구를 수행하였다. 스톡홀름

은 TRANSLOC (Transport and Location)모형의 연구 대상지였을 뿐 아니라, Anas, Boyce, Kim, Echenique 등에 의한 여러 외국 모형을 적용시켜본 시험 대상지이기도하다.

13) 도르트문트 (Dortmund)

Dortmund대학의 공간계획연구소 (IRPUD)의 Wegener교수는 공간모형의 3단계 중 일부분으로서 Dortmund지역의 주거, 토지시장, 교통, 토지이용 등을 담은 도시모형을 개발하였다.

14) 파리 (Paris)

Pumain은 프랑스의 국립 d'Etudes Démographiques연구소 소장이 되면서 프랑스 도시를 대상으로 Allen의 전통적인 모형에 동적 분기모형을 적용하였다 (Pumain, et al. 1984).

15) 튜린 (Turin)

Bertuglia는 Turin의 공예학교를 도시모형을 위한 연구소로 만들었다. 그리고 Piedmont와 Rome의 많은 모형들에 영향을 주었으며 (Lombardo and Rabino 1984), 1980년대 후반 국제적인 학자들의 모임을 조직해서 도시경제와 공간 상호작용 모형화 개념을 통합하는 심도있는 동적 도시모형의 윤곽을 제시했다.

16) 서울 (Seoul)

Urbana-Champaign에서 김 창호 교수와 작업했던 노 정현 교수는 한국으로 돌아와서 서울의 한양대에서 도시모형에 관한 연구를 지속하였다.

17) 도쿄/요코하마 (Tokyo/Yokohama)

동경대학의 나카무라를 비롯한 몇몇 학자들은 CALUTAS라는 (Computer Aided Land- Use Transport Analysis system) 계층적인 모형을 개발하여 동경지역에 적용했다 (Nakamura, et al. 1983). 뒤에 요코하마로 건너간 미야모토는 독자적으로 토지시장의 평형모형인 RURBAN (Random-Utility URBAN)이라는 모형을 개발했다 (Miyamoto, et al. 1986, Miyamoto and

Kitazume 1989).

18) 나고야/기푸 (Nagoya/Gifu)

이전에 도쿄의 나카무라와 함께 했던 하야시는 지역적 잉여에 기초하여 나고야의 토지이용-교통모형을 나고야대학에서 개발하였다 (Hayashi

and Doi. 1989, 1992). 지역적인 잉여의 또 다른 개념을 가지고 비슷한 모형이 Miyagi(1989)와 Morisugi(1992) 등에 의해 Gifu대학에서 개발되었다. 또한 하야시는 주거 이동성에 관한 모형을 개발해 내었다.

표 1. 12개의 도시모형의 비교 요약 (출처 : Wegener, 1994)

모형	모형화된 인자	배경이론	모형화된 정책요소
POLIS composite	고용, 인구, 주거, 토지이용, 교통	random utility locational surplus	토지이용 제약 교통개선
CUFM composite	인구, 토지이용	location rule	토지이용 제약, 환경정책, 공공시설, 교통개선
BOYCE unified	고용, 인구, 네트워크, 교통	random utility general equilibrium	교통개선
KIM unified	고용, 인구, 네트워크, 상품이동 교통	random utility bid-rent general equilibrium input-output	교통개선
ITLUP composite	고용, 인구 토지이용, 네트워크, 교통	random utility network equilibrium	토지이용 제약 교통개선
HUDS composite	고용, 인구, 주거	bid-rent	주거 프로그램
TRANUS composite	모든 하위체계	random utility bid-rent network equilibrium land-use equilibrium	토지이용 제약 교통개선 교통비용 변화
5-LUT unified	인구, 네트워크, 주거	random utility bid-rent general equilibrium	교통개선
LILT composite	상품이동을 제외한 모든 하위체계	random utility network equilibrium land-use equilibrium	토지이용 제약 교통개선 교통비용 변화
MEPLAN composite	모든 하위체계	random utility network equilibrium land-use equilibrium	토지이용 제약 교통개선 교통비용 변화
IRPUD composite	상품이동을 제외한 모든 하위체계	random utility network equilibrium land-use equilibrium	토지이용 제약 주거 프로그램 교통개선 통행비용 변화
RURBAN unified	고용, 인구, 주거, 토지이용	random utility bid-rent general equilibrium	토지이용 제약 교통개선

19) 교토 (Kyoto)

교토대학의 Amano는 교토에 적용된 주된 도시모형의 원조가 되었다(Amano, et al. 1987, 1988). 그리고 Ando(1991)에 의한 입출력 기술에 근거한 Kanto지역의 모형에도 영향을 미쳤다.

20) 멜보른 (Melbourne)

CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)는 도시계획을 위한 TOPAZ (Technique for Optimal Placement of Activities in Zones)라는 최적화 모형을 만들어 내었다(Brotchie, et al. 1980). 뿐만 아니라 Random Utility에 근거한 많은 양의 응용모형 작업을 수행하였다 (e.g., Roy 1992). 또한

Monash 대학에서 Young은 토지이용과 교통간의 game simulation을 개발하기도 하였다 (Gu, et al. 1992).

지금까지 살펴본 20여 개의 도시모형 중 정보의 유용성에 기초하여 세계적으로 인정받고 있는 대표적인 12개의 모형을 정리하면 [표 1]과 같다.

3. 프로토타입 통합도시계획모형

3.1 모형의 구성

1) 계획분석존(PAZ : Planning Analysis

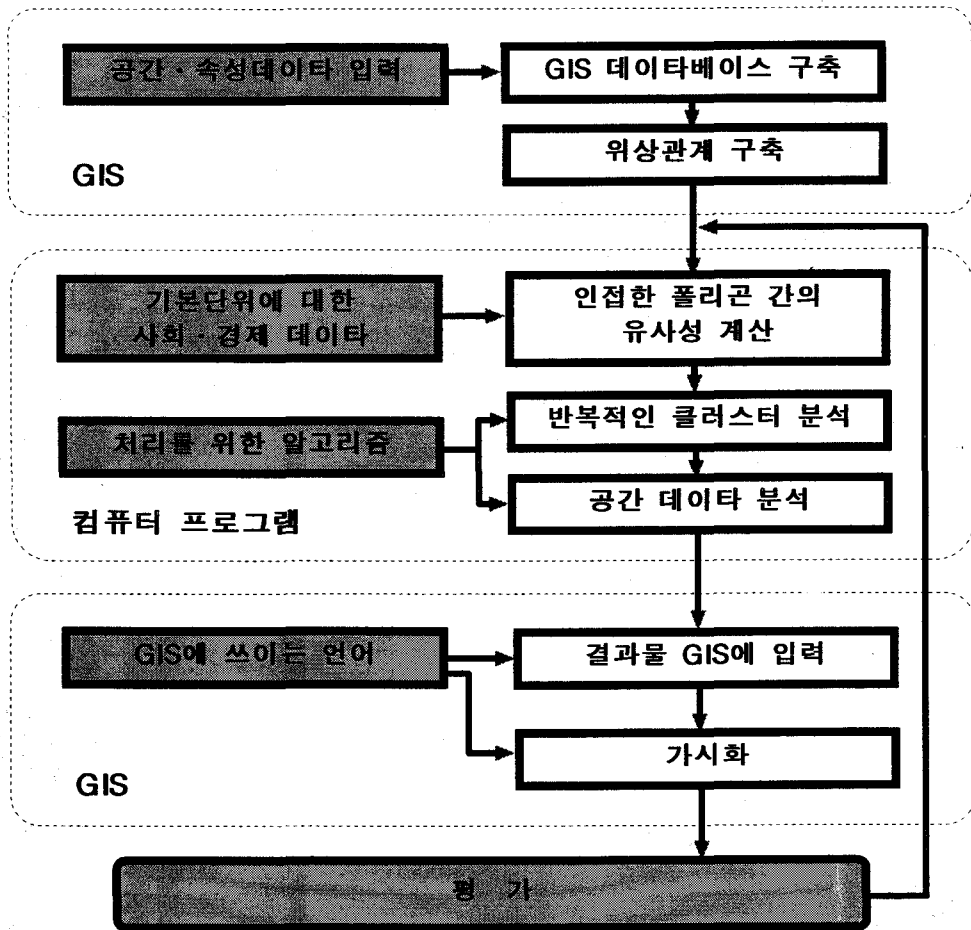


그림 1. GIS를 이용한 존의 집합 과정에 관한 개념도

Zone)

개별적인 통행은 통행수단의 선택에 관계없이 각기 특수한 통행단 (기·종점)을 가지게 되며 도시지역에서는 결국 가구가 이에 해당된다. 하지만 교통모형은 비교적 거시적이기 때문에 토지이용과 교통 통합모형에서는 이렇게 세부적인 통행이 고려될 수 없다. 따라서 실제로 대부분의 교통수요 예측모형에서는 가상의 통행단 (몇 개의 기본단위가 뭉쳐진 교통분석존)이 이용되며 여기에서 각 존의 동질성(homogeneity)이 극대화되어야 하는 이유가 발생한다. PAZ는 특히 모형의 시작단계에 결정되어 모형의 결과에 결정적인 영향을 미치게 되기 때문에 PAZ의 합리적인 선택이 무엇보다 중요하다.

- 존 결합 (Zone Aggregation)

기본단위(BSU)¹⁾로부터 얻어진 PAZ가 효과적이기 위해서는 무엇보다도 각 존 내의 동질성(homogeneity)이 극대화되어야 한다. 뿐만 아니라 PAZ는 지리적 위치도 무시해서는 안되기 때문에 공간적인 연속성(contiguity)도 고려해 주어야 한다. 전통적인 존 결합기법은 연속성을 고려하지 않고 있으며, PAZ가 주로 BSU의 사회·경제적, 행정적 특성에 의해 결정되기 때문에 BSU의 공간적인 위치의 영향까지 고려하고자 한다면 다른 방법을 찾아야만 한다.

그것은 PAZ의 생성을 위해 통계적 방법과 GIS 기법을 이용하여 GIS와 통계적 기법이 결합된 접근법을 개발하는 것이다. 또한 GIS와 함께 클러스터분석(cluster analysis)을 이용하여 최적의 PAZ 생성 여부를 확인할 수 있다.

통계적 분석 틀과 GIS 틀을 함께 결합하여 이용하면 최적의 PAZ 생성이 가능하기는 하지만 동질성과 연속성 조건은 서로 다른 특성을 갖고 있기 때문에 기법상의 문제가 발생한다. 본 연구에서는 위에서 제시한 조건을 모두 만족

시키는 최적의 방법으로 PAZ를 구하고자 하였다.

이러한 여러 가지 조건을 만족시키기 위해서는 PAZ 결정시에 다음과 같은 기준이 고려되어야 한다.

- 공간적으로 인접한 존이 요구됨
- 존 내부의 토지이용과 사회·경제적 특성이 균일해야 함
- 존의 모양은 원형에 가까워야 함
- 존 내부에는 다른 존이 포함되지 않아야 함
- 가능한 간선도로, 철도, 하천, 능선, 기타 물리적 경계를 경계선으로 사용함

PAZ의 생성과정에서는 이러한 조건들이 모두 고려되어야 하지만 상호 배타적인 면도 가지고 있기 때문에 실제로 이 조건들이 동시에 모두 만족되기는 어렵다 (예를 들어 존의 모양을 원형에 가깝게 정하게 되면 동질성을 극대화하지 못한다). 따라서 최적의 PAZ를 생성하기 위해서는 모든 조건들을 적절하게 선택하여 체계적인 틀을 구축해야 하며 이를 확인하기 위해서는 공간분석 기법을 이용해야 한다. 공간분석의 목적은 대상지역을 적절하게 나타낼 수 있도록 존 내의 동질성과 존간의 이질성을 극대화하기 위해 통합된 PAZ를 대상으로 비교분석을 수행하는 것이다.

그림 1.은 GIS 기법과 컴퓨터 프로그램을 이용한 PAZ의 설계과정을 나타내고 있다. 최적의 PAZ가 생성되었는지 확인하기 위해서 표본분산과 공간적 자기상관계수를 비교하는 공간분석 틀이 통합되었다.

2) 인구예측 부분

인구예측모형은 토지이용과 교통 통합모형 내에 있는 다른 모형과 비교했을 때 비교적 간단하지만 이 예측치가 통행배정 하부모형에 의해 예측되는 서비스수준에 상당한 영향을 미치기 때문에 예측에 있어 세심한 주의가 필요하다. 또

1) 본 연구의 기본단위(BSU)는 행정동이다.

한 대부분의 인구예측모형에는 상당한 오차의 가능성이 내재되어 있기 때문에 예측결과에 대한 신중한 검토가 수반되어야 한다. LUTGIS 모형에서는 linear extrapolation method와 geometric extrapolation method가 사용되고 있다.

(1) linear extrapolation method

$$P_t = P_0 + t(\text{slope})$$

여기서

$$\text{slope} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \ln P_i)(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$$

$$P_0 = \bar{P} - \bar{t}(\text{slope})$$

P_i, t_i = 관측된 인구 및 시간

\bar{P}, \bar{t} = 관측된 모든 인구 및 시간의 평균

(2) geometric extrapolation method

$$\ln P_t = \ln P_0 + t \ln(1+r)$$

여기서

$$\ln(1+r) = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln P_i - \overline{\ln P_i})(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$$

$$\ln P_0 = \overline{\ln P_i} - \bar{t}(\ln(1+r))$$

3) 토지이용 예측부분

GIS 네트워크와 동적절편법 (dynamic segmentation function)에 의해 현재시점(t0)의 비혼잡 링크비용이 산출된다. 고용·주거입지를 위해서 EMPAL과 DRAM 모형을 이용하였다. 이 모형은 교통모형과 연결되어 있는데 결과적으로 EMPAL과 DRAM에 의해 예측된 가구·고용자수가 통행발생량이 되기 때문에 주로 가정기반 업무통행, 업무기반 가정통행이 고려된다.

(1) 고용입지모형 (EMPLOYMENT ALLOCATION model)

$$E_{m,j,t} = \lambda \sum_i P_{i,t} A_{m,i,t_0} W_{m,j,t_0} \exp(-\beta_m c_{i,j,t}) + (1-\lambda)E_{m,j,t_0}$$

$$W_{m,j,t_0} = L_j^{a_m} E_{m,j,t_0}^{\delta_m}$$

$$A_{m,i,t_0} = \left[\sum_k W_k \exp(-\beta_m c_{i,k,t_0}) \right]^{-1}$$

여기서,

$P_{i,t}$: t 시점에서 존 i의 총 인구

$E_{m,j,t}$: t 시점에서 존 j의 m 형태의

고용

$c_{i,j,t}$: t 시점에서 존 i, j 간의 통행비용

L_j : 존 j의 총 면적

$a_m, \beta_m, \gamma_m, \lambda_m, \delta_m$: m 형태의

고용에 대한 변수

(2) 주거입지모형 (Disaggregated Residential Allocation Model)

$$H_{h,i,t} = \sum_j E_j B_j W_i \exp(-\beta_h c_{i,j,t})$$

$$E_{j,t} = \sum_s a_{s,h} E_{s,j,t}$$

$$B_{h,i} = \left[\sum_i W_{h,i} \exp(-\beta_h c_{i,i,t}) \right]^{-1}$$

$$W_{h,i} = (L_{iR})^\gamma (1+n_{11})^\sigma (1+n_{12})^\rho (1+n_{23})^\theta$$

$$n_{it} = \frac{N_{it}}{\sum_h N_{i,h}}$$

여기서,

$H_{h,i,t}$: 시점 t에서 존 i의 h 형태의 주거수

$a_{h,s}$: s 형태의 고용수에 대한 h 형태의 주거수의 비

$E_{s,j,t}$: 시점 t에서 존 j의 s 형태의 고용수

L_{iRt} : 시점 t 에서 존 i 의 주거면적

n_{it} : 시점 t 에서 존 i 의 (h 형태의 주거 / 전체주거)

$\beta_h, r_h, s_h, \theta_k^h, \rho_h$: h 형태의 주거에 대한 변수

4) 통행분포·수단선택·통행배정 부분

TRANPLAN이나 EMME/2와 같은 UTPS (Urban Transportation Planning System) 타입의 교통패키지 내에서 전통적인 통행분포·수단선택·통행배정 과정이 수행되도록 설계되었으며, 본 연구에서는 TRANPLAN을 사용하였다.

5) 배정된 교통망의 통행량을 기반으로 장래의 토지이용 예측부분

이 과정은 유입도 (attractiveness)와 접근성 (accessibility)을 정의함으로써 수행되며 반복적인 토지이용과 교통 통합모형을 구축하기 위해서는 서비스수준과 장래 토지이용간의 관계가 정의되어야 한다. 그러나 이 과정은 토지이용과 교통의 순환관계를 수식화 하는 과정이 정립되어 있지 않은 상태이다.

장래의 토지이용 = f (서비스수준, 접근성, 유입도)

3.2 모형의 설계

현재의 토지이용과 교통망 현황을 바탕으로 미래 계획년도의 고용, 주거 그리고 그로 인한 교통상황을 예측할 수 있는 시뮬레이션 모형의 설계가 주목표이다.

모형 설계의 목적은 GIS를 이용해 하나의 틀 속에 토지이용과 교통 모형을 통합하는데 있으며 다음과 같은 네 가지의 하위시스템으로 구성된다.

1) 데이터 관리 시스템

데이터 관리 시스템은 데이터베이스 구축에 소요되는 시간과 노력을 덜어 줌으로써 토지이용과 교통 통합모형을 현실에 적용하는 것을 용이하게 해준다. 데이터 관리 시스템 구축 후, 시스템을 관장하는 GIS를 기반으로 PAZ (Planning Analysis Zone)가 고려된다. PAZ란

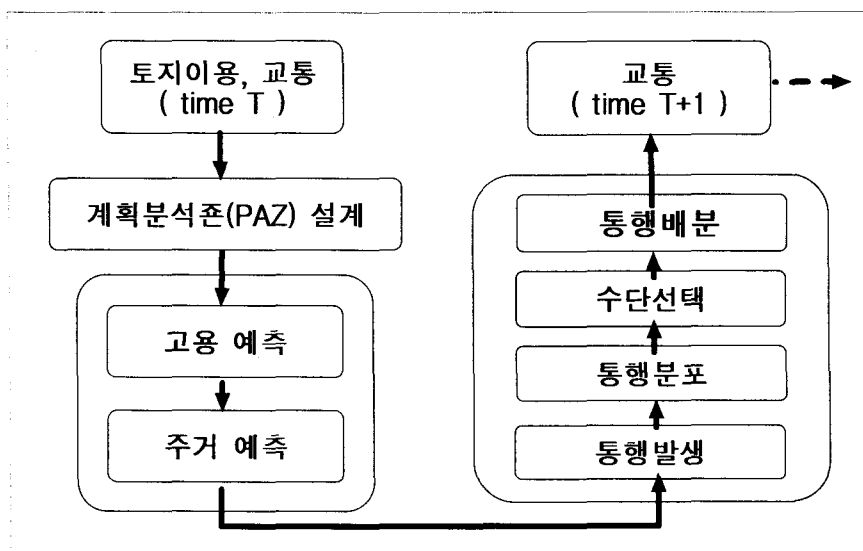


그림 2. 정립된 토지이용-교통 모형 개념도

체계적인 토지 및 교통 공간의 연구·계획을 위해 구획의 기본이 되는 토지 및 교통의 분석 단위를 말한다. GIS를 이용한 PAZ는 근본적으로 GIS가 가지는 특성을 바탕으로 하고 있으며, 컴퓨터 프로그램을 이용하여 최적의 PAZ 시스템을 생성하기 위한 복잡한 존 생성 알고리즘이 구현되며 이 프로그램들은 GIS 내에서 통합된다.

PAZ 생성 과정의 마지막 단계에서, 생성된 PAZ 시스템은 새로 생성된 존 센트로이드가 데이터 관리 시스템에 의해 관리되는 기존의 도로 네트워크에 연결하는 과정이 필요하다. 따라서 이를 준비하기 위해 새로 생성된 존에 센트로이드를 부여하는 단계가 필요하다.

존 센트로이드의 생성 후, 속성테이블을 이용하여 PAZ 에 새롭게 속하게 된 각 하위존(sub-zone)의 속성값들(인구, 사회경제지표 등)을 합한다. 이 PAZ 생성과정은 사용자가 시스

템에 의해 자동적으로 생성된 PAZ 시스템과 수정된 도로 네트워크를 채택하는 자동적인 PAZ 생성과, 사용자가 직접 수정하고 새로운 PAZ 시스템을 재생성할 수 있도록 하는 수동적인 PAZ 생성의 두 가지 실행방법이 고려된다.

2) 핵심 모형 시스템

PAZ 시스템 생성 후, 수학적인 토지이용, 교통 모형이 실행된다.

- 고용·주거 입지 모형
- 교통모형

3) Graphic User Interface (GUI) 시스템

이 과정에서 요구되는 모든 파라미터들은 사용자에게 의해 미리 정해져야 한다. 적합한 파라미터의 사용이 가치 있는 결과를 도출한다는 점에서 사용자가 쉽게 파라미터를 선택하여 입력할 수 있도록 알기 쉽게 설계된 GUI가 필요하며 이러한 GUI를 통해 사용자는 필요한 파라미터를 입력할 수 있고, 현재 이용되고 있는 파라

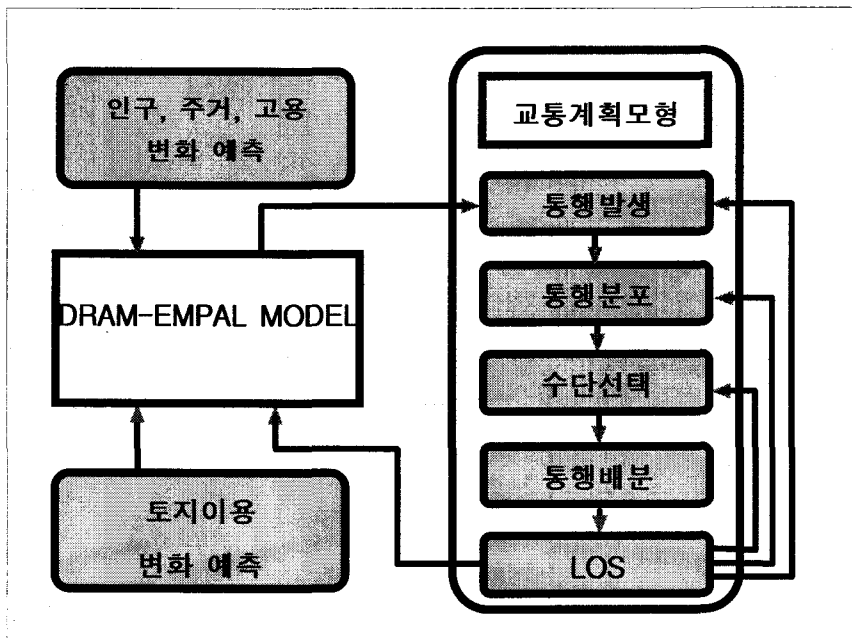


그림 3. 모형의 반복적인 예측과정

미터들을 이해할 수 있게 된다.

4) 가시화 시스템

마지막으로 통합된 시스템에서는 토지이용과 교통 통합모형 사이에 피드백이 가능해야 하며, 사용자가 복잡한 모형의 수행과정을 이해할 수 있도록 다양한 가시화 틀을 제공해야 한다.

일단 개개의 모형이 수행되고 나면 사용자는 가시화 시스템 (GIS와 컴퓨터 프로그램의 연계에 의해 수행)을 통해 다양한 형태로 결과를 획득할 수 있게 된다. 그림 3은 본 프로젝트에서 사용한 토지이용과 교통 통합모형의 반복작업에 대한 개념을 보여준다. 물론 GIS와 완전히 통합된 시스템이 되기 위해서는 하위모형 간에 필요

한 기능이 보다 명확히 정의되어야 한다. 따라서 그림 3의 개념을 바탕으로 시스템의 재설계와 개선이 요구된다.

3.3 응용 소프트웨어 설계 및 구현

응용 소프트웨어의 구성 및 주요기능에 대해서는 표 2에 정리되어 있다.

1) 소프트웨어 개발환경

본 소프트웨어를 개발하기 위해 사용한 환경은 다음과 같다.

(1) 하드웨어 환경

- 인텔 Pentium-II 266MHZ의 프로세서와 128MB의 메인 메모리를 갖는 PC

표 2. 개발 소프트웨어의 구성 및 주요기능

구분	구성	모듈수	주요기능
사용자 인터페이스	LUTGIS	14 개	사용자 화면 총괄
P A Z 설 계	PAZ 생성	40 개	알고리즘에 의한 계획존 생성
	센트로이드 연결		생성된 존들간의 센트로이드 연결
	평가		생성된 계획존의 평가
교 통 망 설 계	파일 생성 및 저장	32 개	교통망 관련 공간데이터의 생성, 열기, 저장
	Feature 편집		교통망의 노드, 링크, 링크속성을 편집
	위상관계 정립		편집된 교통망 feature들의 위상관계 형성
고 용 입 지	존간 통행 비용계산	10 개	존들간의 최단거리 및 통행비용 계산
	고용 예측		계획년도의 업종별 고용인구 예측
주 거 입 지	인구 예측	9 개	계획년도의 소득별 세대수 예측
	주거 예측		계획년도의 계획존 내 세대수 예측
교 통 계 획	데이터 변환	22 개	ARC/INFO데이터를 TRANPLAN데이터로 변환
	수요 예측		계획년도의 교통수요를 TRANPLAN으로 예측
	결과 출력		예측된 결과들을 표와 그래픽으로 도시
가 시 화	데이터 변환	6 개	TRANPLAN데이터를 ARC/INFO데이터로 변환
	그래픽 출력		교통량과 V/C비를 그래픽으로 도시

(2) 운영체제

- 마이크로소프트사의 Windows-NT Workstation 버전 4.0

(3) 소프트웨어 패키지

- ESRI사의 ARC/INFO NT 버전 7.1.1
- The Urban Analysis Group의 TRANPLAN
- 마이크로소프트사의 Visual Basic 5.0과 Visual C++ 5.0 컴파일러

2) 데이터베이스 설계 및 구축

(1) 데이터베이스 환경

본 연구에서는 주개발 소프트웨어인 ARC/INFO상에서 대부분의 데이터가 생성, 갱신, 저장되므로 ARC/INFO의 내장 데이터베이스인 INFO에 맞도록 설계하는데 주안점을 두었고, 불필요한 데이터 처리를 최소화하여 데이터 액세스와 처리속도를 빠르게 하도록 설계하였다.

(2) 데이터베이스 구성

① 공간 데이터베이스

- 행정동 커버리지 : 33개 행정동 경계(폴리곤)
- 구 커버리지 : 2개 구 경계(폴리곤)
- 법정동 커버리지 : 88개 법정동 경계(폴리곤)
- 교통망 커버리지 : 청주시 도로망을 아크와 노드로 구성

② 속성 데이터베이스

- 행정동 관련 속성들

3) 통합도시계획모형의 구현

위의 과정을 통해 산출된 결과물들을 바탕으로 ARC/INFO의 구현언어인 AML과 C프로그래밍 언어를 사용하여 모듈별로 구현하였음.

4. 구현결과 및 향후 연구계획

4.1 모형의 구현결과

그림 4는 본 통합모형을 수행하기 위한 전체

적인 과정을 포함하고 있는 사용자 인터페이스 화면이다. 각 과정은 단계별로 해당 버튼을 누름으로써 실행이 된다.

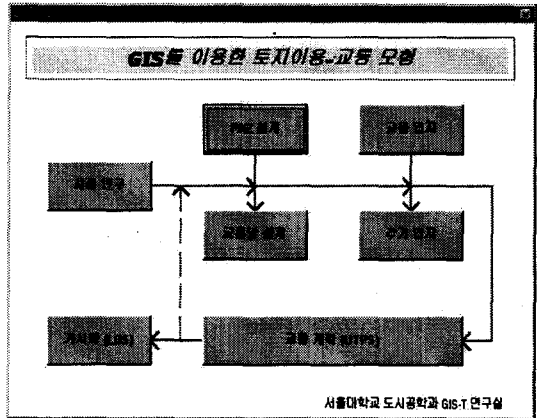


그림 4. GIS를 이용한 통합 도시계획 모형

그림 5는 사례연구 버튼을 눌렀을 때 나타나는 화면으로 데이터베이스로 구축된 대상 도시의 공간 데이터와 속성데이터를 ArcView를 통해 확인해 볼 수 있도록 구성되어 있다.



그림 5. DB로 구축된 청주시 현황

그림 6은 PAZ설계 버튼은 눌렀을 때 나타난 PAZ생성을 위한 파라메타 입력창에 각 파라메타를 입력한 후 자동 생성 버튼을 누른 결과이다. 청주시의 33개 행정동을 기본단위(BSU)로 하여 15개의 계획분석존을 생성하였음을 알 수 있다.

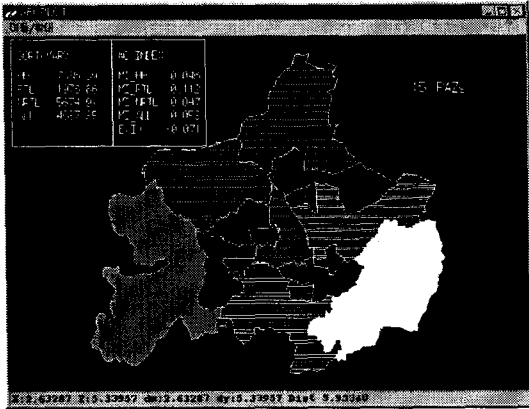


그림 6. PAZ 자동생성 결과화면

그림 7은 생성된 계획분석존이 지리적, 사회 경제적 변수들에 대해 어떤 상관관계를 갖지 않고 균형있게 잘 분포되도록 생성되었는지를 평가한 결과를 보여주고 있다. 이러한 평가는 MORAN의 I 지수를 통한 공간적 자기상관관계를 척도로 사용하고 있다. 합리적인 계획분석존은 BSU가 랜덤하게 각 존에 포함되어야 한다.

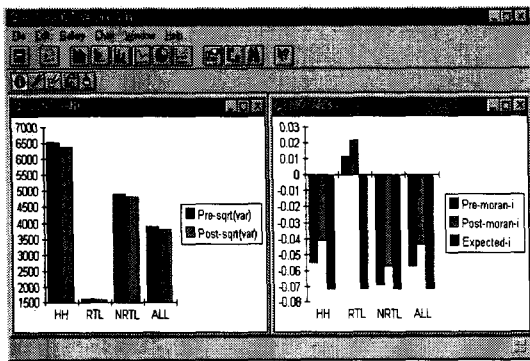


그림 7. PAZ 평가결과 화면

그림 8과 그림 9는 각각 고용입지와 주거입지 버튼을 눌렀을 때 현재의 고용상태와 소득계층별 주거상태를 기초로 미래의 고용과 소득별 주거상태를 예측한 결과를 그래프로 나타내고 있다. 여기에서 예측된 가구와 고용자수는 다음 단계에서 이어지는 교통계획과정의 통행발생량이 되기 때문에 주로 가정기반 업무통행과 업무기반 가정통행이 된다.

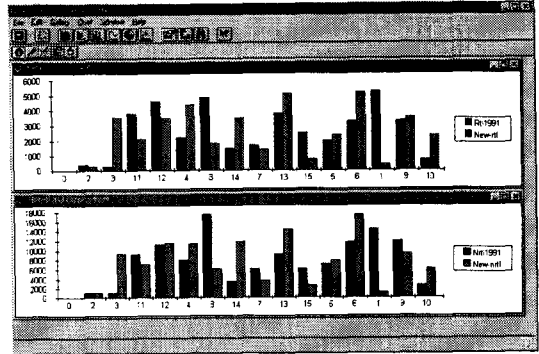


그림 8. 기준년도와 계획년도의 고용 비교

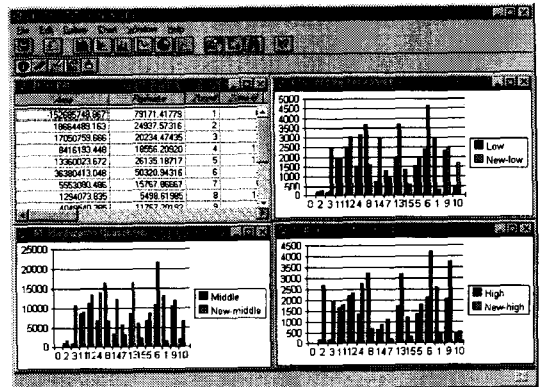


그림 9. 기준년도와 계획년도의 세대수 비교

지금까지는 생성된 계획분석존을 중심으로 미래의 사회·경제지표들을 이용해 각 존의 토지이용을 예측한 결과를 살펴보았다. 이 결과를 가지고 미래의 교통수요를 예측하기 위한 교통계획과정에 들어가게 된다. 이 과정은 그림 4의 교통계획(UTPS) 버튼을 누르면 수행된다.

그림 10은 앞 단계에서 예측된 토지이용 결과를 바탕으로 예측된 각 존의 통행 발생을 유입량(붉은색)과 유출량(푸른색)으로 나타낸 결과 화면이다.

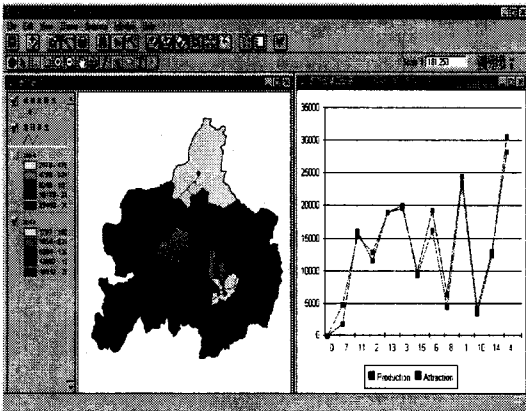


그림 10. 통행발생 : 통행 유입량

그림 11은 각 존의 통행 발생량을 기초로 예측된 각 존간에 발생하는 통행의 분포를 보여주고 있으며, 그림 12는 존간의 통행분포를 토대로 각 존들을 잇고 있는 도로 상에 통행량을 배분한 결과화면이다. 마지막으로 그림 13은 이렇게 배분된 각 도로상의 통행량(volume)과 각 도로의 용량(capacity)을 비(ratio)로 나타내 미래의 토지이용결과가 각 도로에 어떠한 영향을 미치게 될지를 나타내고 있다.



그림 11. 각 존간의 통행분포 (Trip Distribution)

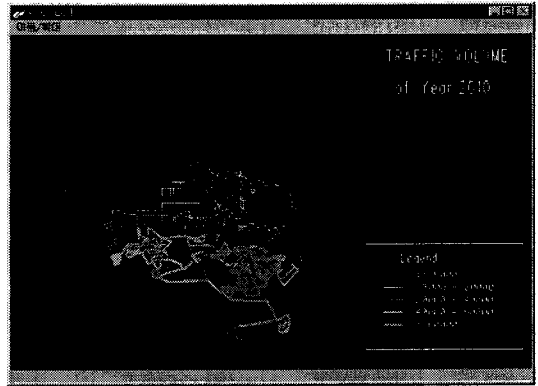


그림 12. 각 도로상에 통행량을 배분한 결과

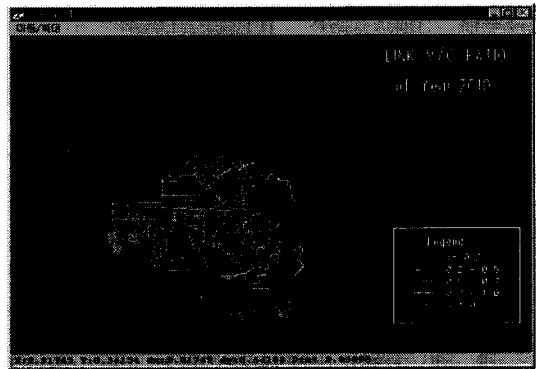


그림 13. Trip Forecast: V/C Ratio

4.2 향후 연구계획

도시개발계획을 수립하는 과정을 지원하기 위해 수행된 본 연구를 통해서 많은 문헌들과 세계의 도시 모형들을 고찰하고 분석하였다. 특히 실무에서 도시계획을 수행하고 있는 전문가들에게 본 모형을 설명하고 평가를 받는 과정들을 몇 차례 실시하였다. 이러한 과정속에서 정리된 본 모형의 발전방향과 앞으로의 연구계획은 다음과 같다.

첫째, 도시계획 모형은 적용하고자 하는 대상 도시의 특성을 정확하게 반영할 수 있어야 한다는 것이다. 각 도시는 도시마다의 발전 특성을 가지고 있으며, 앞으로 개발의 여지가 많은 도시가 있고 이미 개발이 거의 끝나 재개발이 시

행되고 있는 도시가 있다. 따라서 이러한 사항들을 계량화하여 모형에 반영함으로써 현재의 상태를 정확하게 데이터베이스를 통해 기록하고, 이를 이용하여 미래를 예측한 후 그 결과를 계획에 반영될 수 있도록 하여야 한다.

둘째, 모형을 개발하였으면 그 모형을 검증해 볼 수 있어야 한다는 것이다. 대부분의 도시계획이 향후 10년 또는 20년 후를 내다보고 수행하기 때문에 개발된 모형이 얼마나 정확하게 미래 상황을 예측할 수 있는가를 평가하기는 쉬운 일이 아니다. 그러나, 현재 진행되고 있는 각 지자체별 GIS 구축이 계속되고 각 시의 상황을 반영하는 각종 사회·경제지표들에 대한 데이터베이스화가 이루어지는 시점에서는 과거의 데이터를 모형에 넣어 현재를 예측하여 봄으로써 현재 도시의 실제 상황과 예측된 결과를 비교해 볼 수 있을 것이다. 이것은 개발된 모형의 성능을 향상시켜 나갈 수 있는 중요한 방법이며, 이 과정이 정형화된다면 모형을 통해 예측된 교통계획의 결과를 토지이용계획에 다시 반영할 수 있어 보다 정확한 계획을 수립할 수 있을 것이다.

셋째, 현재의 모형에 사용된 각종 예측을 위한 식들은 가능한 한 여러 가지 방법들을 수용하여 예측을 수행할 수 있게 하고 그 결과를 비교·검토하여 보정할 수 있도록 하여야 한다. 이는 모형의 정확도를 향상시키기 위해서 반드시 포함되어야 할 부분이다.

넷째, 현재 개발된 모형은 미래의 상황을 거시적으로 예측하여 계획에 반영되도록 설계되어 있다. 따라서 용도지역의 변경과 같은 미시적인 계획사항 등은 반영할 수 없다. 그러므로 거시적인 계획과정을 수행한 후 이들을 각 동별 또는 계획분석존 단위로 세부적인 계획과정들을 시뮬레이션해 볼 수 있도록 하는 연구가 계속되어야 한다.

마지막으로 본 모형을 어떤 사용자라도 편안

하게 사용할 수 있도록 하기 위한 사용자 인터페이스의 개선이 필요하며, 모형의 수행과정에 포함된 많은 파라메타 입력 부분들은 전문가 시스템과의 연계를 통해 각 도시의 상황에 맞는 파라메타를 추천해 줄 수 있도록 하는 등의 개선을 위한 연구가 수행되어야 한다.

5. 결 론

본 연구에서는 도시내에서 밀접하게 상호작용하고 있는 토지이용과 교통을 하나의 통합된 모형으로 표현하여 도시개발 계획 수립에 활용할 수 있는 GIS 응용 소프트웨어를 개발하였다.

미래의 도시개발 계획을 수립할 때에는 계획하고자 하는 미래 시점에서의 인구, 토지공간 수요, 교통량 및 경제상황 등을 예측할 필요성이 있다. 그러나 현재까지는 계량적이고 객관적인 방법으로 수행할 수 있는 자동화된 도구가 거의 없어 수작업이나 부분적인 프로그램 실행을 통해 수행해 왔기 때문에 체계적이지 못하고 비효율적인 계획과정을 거쳐야만 했다.

따라서 본 연구는 기존의 수작업 위주의 도시 계획과정을 체계적으로 구축된 데이터베이스 위에서 여러 대안을 객관적이고 정량적으로 시뮬레이션하여 도시계획에 반영할 수 있도록 자동화하였다는데 그 의의가 있다. 개발된 모형은 도시계획 관련 부서의 실무에서 직접적으로 사용될 수 있으며, 프로그램의 실행을 통해 나온 보고서들과 그래프로 표현된 결과들은 정책대안을 분석하거나 정책결정자가 의사결정을 할 때에 아주 유용한 자료로 사용될 수 있다. 이번 연구를 통해 얻은 기술 및 연구내용들은 본 모형을 향후 여러 도시에 적용할 때에 밑바탕이 될 수 있는 요소기술들이 될 것이다.

참고문헌

Tschangho Kim and Jinsoo You, An

- Integrated Land Use-Transportation Modelling System with GIS: Conceptual Framework, Paper presented at the 1998 Annual Meetings of GIS-T Conference, Salt Lake City, Utah, USA, April 20-23, 1998.
- Tschangho Kim and Jinsoo You, An Integrated Land Use-Transportation Modelling System with GIS: LUTGIS, Paper presented at the Annual Meetings of Urban and Regional Information Society of America (URISA), Charlotte, NC, USA, July 20-23, 1998.
- Tschangho Kim, Changho Park and Seung Kwan Lee, An Integrated Land Use-Transportation Model with GIS: An Application to Seoul, Paper presented at the World Congress for Transport Research, Antwerp, Belgium, July13-17, 1998.
- Tschangho Kim, Jinsoo You and Seung Kwan Lee, An Integrated Urban Systems Model with GIS, Paper presented at the 38th European Regional Science Association Congress, Vienna, Austria, August 28-September 1, 1998.
- Anas, Alex, 1992. NYSIM (The New York Area Simulation Model): A Model for Cost-Benefit Analysis of Transportation Projects, Regional Plan Association, New York.
- Barra, Tomas de la, 1989. Integrated Land Use and Transport Modeling: Decision Chains and Hierarchies, Cambridge: Cambridge university Press.
- Batty, Michael, 1994. A Chronicle of Scientific Planning: The Anglo-American Modeling Experience. *Journal of the American Planning Association*, 60 (1): pp. 7-16.
- Boyce, David E., 1986. Integration of Supply and Demand Models in Transportation and Location: Problem Formulation and Research Questions. *Environment and Planning A*, 18: pp. 485-89.
- Boyce, David E. and Lars Lundqvist, 1987. Network Equilibrium Models of Urban Location and Travel Choices: Alternative Formulations for the Stockholm Region. *Papers of the Regional Science Association*, 61: pp.93-104.
- Brotchie, John F., John W. Dickey and Ron Sharpe, 1980. TOPAZ: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 180, New York: Springer-Verlag.
- Choi, Keechoo and Kim, Tschangho, 1994. Integrating Transportation Planning Models with GIS: Issues and Prospects. *Journal of Planning Education and Research*, 13: pp. 199-207.
- Dickey, John W. and C. Leiner, 1983. Use of TOPAZ for Transportation-land use Planning in a Suburban County. *Transportation Research Record*, 931: pp. 20-26.
- Echenique, Marcial H., Anthony D. J. Flowerdew, John Douglas Hunt, Timothy R. Mayo, Ian J. Skidmore and David C. Simmonds, 1990. The MEPLAN Models of Bilbao, Leeds and Dortmund. *Transport Reviews*, 10: pp. 309-22.
- Heikkila, Eric J., Tschangho John Kim, and James E. Moore II, 1989. Incorporating Expert Geographic Information Systems into Urban Land Use and Transportation Planning Models. *Sistemi Urbani*, 2, pp. 161-175.
- Hunt, John D. And David C. Simmonds, 1993.

- Theory and Application of an Integrated Land-Use and Transport Modelling Framework. *Environment and Planning B*, 20: pp. 221-44.
- Kim, Tschangho John, 1989. *Integrated Urban Systems Modeling: Theory and Applications*, Norwell: Kluwer Academic Publishers.
- Kim, Tschangho John, Lyna L. Wiggins, and Jeff R. Wright., 1989. *Expert Systems: Applications to Urban Planning*, Springer-Verlag.
- Klosterman, Richard E., 1994. Large-scale urban models: Retrospect and prospect. *Journal of the American Planning Association*, 60 (1): pp. 3-6.
- Landis, John D., 1994. The California Urban Futures Model: A New Generation of Metropolitan Simulation Models. *Environment and Planning B*, 21: pp. 399-422.
- Lewis, Simon, 1990. Use of Geographical Information Systems in Transportation Modeling. *ITE Journal*, v. 60, Mar. 90, pp. 34-8.
- Lowry, Ira S., 1964. *A Model of Metropolis*, Santa Monica, CA: RAND.
- Lundqvist, Lars, 1989. *A Model System for Metropolitan Energy Studies. Spatial Energy Analysis*, Lars Lundqvist, Lars-Goran Mattson and Erik Anders Eriksson (Eds.), Aldershot: Avebury, pp. 245-69.
- Mackett, Roger L., 1983. *The Leeds Integrated Land-Use Transport Model (LILT)*, Supplementary Report SR 805, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Mackett, Roger L., 1991. *LILT and MEPLAN: a Comparative Analysis of Land-Use and Transport Policies for Leeds*. *Transport Reviews*, 11: pp. 131-54.
- Moore II, James E. and Tschangho John Kim, 1995. *Mills Urban System Models: Perspective and Template for LUTE (Land Use/Transport/Environment) Applications*. *Computer, Environment and Urban Systems*, 19 (4): pp. 207-225.
- Nakamura, Hideo, Yoshitsugu Hayashi and Kazuaki Miyamoto, 1983. *Land-Use Transportation Analysis System for a Metropolitan Area*. *Transportation Research Record*, 931: pp. 12-19.
- Prastacos, Poulicos, 1986. *An Integrated Land-Use-Transportation Model for the San Francisco Region*. *Environment and Planning A*, 18: pp. 307-322 and pp. 511-528.
- Putman, Stephen H., 1983. *Integrated Urban Models*, London: Pion Limited.
- Putman, Stephen H., 1991. *Integrated Urban Models 2*, London: Pion Limited.
- Southworth, Frank, 1995. *A Technical Review of Urban Land Use - Transportation Models as Tools for Evaluating Vehicle Travel Reduction Strategies*, Oak Ridge National Laboratory.
- Watterson, W. T., 1993. *Linked Simulation of Land Use and Transportation Systems: Developments and Experience in the Puget Sound Region*. *Transportation Research 27A*: pp. 193-206.
- Webster, F. Vernon, Philip H. Bly, and Neil J. Paulley, eds. 1988. *Urban land use and transport interaction: Policies and models*. Report of the International Study Group on Land Use/Transport Interaction (ISGLUTI),

Aldershot, England: Avebury.

Wegener, Michael, 1994. Operational Urban Models: State of the Art. Journal of the American Planning Association, 60 (1): pp. 17-29.

오 승

1990년 전남대학교 산업공학과 졸업 (공학사)
1996년 한양대학교 환경과학대학원 환경계획학과(GIS전공) 졸업(공학석사)
1996년~1997년 한국건설기술연구원
1998년 3월~현재 서울대학교 도시공학과 박사과정 (GIS-T 연구실)
관심분야: 지리정보시스템, 지능형 교통시스템, 의사결정지원시스템

강 승 립

1994년 홍익대학교 도시공학과 졸업 (공학사)
1996년 서울대학교 토목공학과 (도시공학전공) 졸업(공학석사)
1996년~현재 서울대학교 도시공학과 박사과정 (GIS-T 연구실)
관심분야: 지리정보시스템, 의사결정지원시스템, 교통계획

이 경 소

1998년 서울대학교 도시공학과 졸업 (공학사)
1998년 3월~현재 서울대학교 도시공학과 석사과정
관심분야: 지리정보시스템, 지능형 교통시스템, 교통계획

김 창 호

1967년 한양대학교 건축공학과 공학사
1973년 Princeton 대학교 도시공학과 석사
1976년 Princeton 대학교 도시공학과 박사
1994년~현재 Saudi Arabia Riyadh 주정부 GIS개발 고문
국가 GIS 민간 자문 위원회 위원장
1995년~현재 국제 표준기구 GIS분과 대한민국 대표
국제 표준기구 GIS분과 한국위원회 위원장
과기부 GIS 인력개발 분과 위원
과기부 GIS 기술개발 평가위원회 위원장
서울대학교 공학연구소 특별연구위원
관심분야: 지리정보시스템, 지능형 교통시스템, 의사결정지원시스템