

구조방정식모형(SEM)을 이용한 서울시 도로망과 사회·경제적 지표의 인과관계 변화분석*

김정희**

An Analysis of the Changes in the Cause-and-Effect Relationships between Socio-Economic Indicators and the Road Network of Seoul Using Structural Equation Model*

Junghee Kim**

요약 : 본 연구에서는 서울시를 대상으로 1977~2006년까지의 도로망 패턴이 인구·산업·토지이용 등의 사회·경제적 인자와 어떠한 인과관계가 있는지에 대해 분석해 보았다. 분석방법으로는 다수의 독립변수와 종속변수간의 인과성을 동시 추정할 수 있는 구조방정식모형을 사용하였다. 이에 사용되는 측정변수로는 인구·산업·지가·토지이용·도로관련 변수 등이 선정되었으며, 탐색적 인자분석을 실시하여 변수군을 분류하였다. 구조방정식모형을 통해 인과관계를 분석한 결과, 1980년대를 전·후로 모형의 구조가 변형되는 것으로 분석되었다. 1970년대와 1980년대에는 전반적으로 인구, 산업, 토지이용 등의 사회·경제적 지표가 도로망의 형성에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히 산업의 발달이 도로망의 형성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 1990년대에 들어와 도로가 사회·경제적 인자에 미치는 영향의 모형이 그 반대의 경우보다 인과관계를 설명하는데 더 적합한 것으로 나타났다. 이 시기에는 도로관련 인자가 지가형성과 산업발달에 가장 많은 영향을 미치며, 이러한 추세는 2006년에도 유사하게 나타났다.

주요어 : 구조방정식, 탐색적 인자분석, 인과관계, 도로망, 사회·경제적 요인

Abstract : The purpose of this study is to analyze cause-and-effect relationships between patterns of the road network and socio-economic factors such as population, industry, and land use of Seoul during the period of 1970~2000. In this study, Structural Equation Model (SEM) is used to estimate simultaneously the cause-and-effect relationships between many independent variables and dependent variables. For the observed variables, variables related to population, industry, land price, land use, and road variables were included; these variables were classified by exploratory factor analysis. The analysis using the SEM showed that the structure of the model changed around the 1980's. In general, socio-economic factors such as population, industry, and land use affected construction of the road network of the city during the 1970's and the 1980's. Especially, it was analyzed that the industrial development had the greatest impact on formation of the road network. In the 1990's, the effect that the road network exerts on socio-economic factors proved to be more appropriate than the other way round. At that time, the road-related factors had the greatest effect on the land price and industrial development, and that tendency has continued until now.

Key Words : Structural Equation Model (SEM), exploratory factor analysis, cause-and-effect relationship, road network, socio-economic factor

* 본 연구는 필자의 박사학위논문 일부를 재정리한 것임.

** 남서울대학교 지리정보공학과 겸임교수(Adjunct professor, Department of Geoinformatic Engineering, Namseoul University), bear0819@paran.com

1. 문제제기와 연구목적

石水(1974)는 도시를 하나의 공간적 실체로 파악하여 거기에 나타나는 질서를 파악하고, 그 질서의 배경에 존재하는 논리를 도시공간구조라고 주장한 바 있다. 여기서 공간적 질서란 지표상에 내재하는 공간적 요소와 지표 사상간의 특정 질서가 유지되는 공간의 규칙성이다. 도시공간구조는 건물, 토지이용, 경제활동 등 개별요소들이 도시지역 내에서 구성하는 공간적 패턴이나 배열상태를 말한다. 그리고 상호작용이나 흐름은 이러한 요소들을 묶어 도시하위체계라는 기능적 실체로 통합시켜 도시의 공간구조를 형성하게 된다(Bourne, 1982, 28). 도시의 공간구조에서는 도시가 시간이 경과함에 따라 어떻게 형성·성장·쇠퇴하는지에 대한 변화과정 또는 패턴의 변화를 분석하기 위해 다양한 방법론을 모색하고 있다.

도시공간구조의 변화요인은 크게 생태적 요인과 사회·경제적 요인, 정책적 요인 등으로 구분하여 규명될 수 있다. 우선 생태적 요인이라 자연생태계에서 적자생존의 원칙에 따라 우생종이 지배하듯이 인간에 의해 만들어진 도시공간도 우월하게 작용하는 힘에 따라 공간의 구조가 결정된다고 보는 것에서 비롯된 것이다. 구체적으로, 도시에는 이동하기 쉬운 도로축을 따라 각종 공공시설과 편의시설이 입지하여 인구의 집중을 수반한 중심업무지구가 형성되는데, 이러한 현상은 지가 및 임대료의 상승으로 이어져 지대지불 능력에 따른 지역적 분화를 유도한다. 지가가 매우 높은 지역은 그 능력에 따라 경쟁을 통해 이를 감당할 수 있는 토지이용패턴이 나타나게 되어 도시공간은 균형상태에 도달하게 된다(Park, 1952, 224). 그러나 교통·통신의 발달이나 환경의 악화와 같이 균형 상태를 깨뜨리는 외부요인은 또 다른 경쟁을 통해 도시공간의 변화를 가져오며 끊임없는 침입과 천이의 반복을 거쳐 도시의 공간구조 및 형태가 변화하게 된다(남영우, 2007, 329-334).

실제로 도시는 전술한 인문 공간의 측면에서 보면 정주인구의 밀도가 높고, 인구구성 측면에서 제2·3차 산업에 종사하는 비율이 높은 지역으로 도로·상하수

도·고층건물 등과 같은 물리적 편의시설이 상대적으로 잘 정비된 지역이다(대한국토·도시계획학회, 2006, 37). 따라서 도시공간구조는 정치·경제·사회적으로 얽히고 설킨 복잡한 인과관계가 반영되지 않은 공간의 행태적 패턴과 경쟁과 도태라는 이분법적 사고에 무게를 둔 생태적 요인만으로 설명될 수 없다. 도시공간구조는 사회·경제적 요소의 공간적 분포와 인적·물적 유동간의 상호작용에 의해 창출되는 입체적 공간이다. 이러한 배경에서 도시 관련분야에서는 도시 내부에 혼재하는 복잡한 사회·경제적 분포패턴을 규명하기 위하여 여러 가지 관련변수들을 이용한 계량적 분석을 수행하기 시작한 것이다. Baerwald(1978)는 미국의 대도시를 둘러싼 고속도로가 전통적 우위성을 가진 중심업무지구를 위협하는 신규 상업복합단지의 확산을 가져와 중심지역의 인구가 재배치되고 더 나아가 새로운 도심을 형성한다고 주장하였다. 형시영(2006)은 대도시의 도심부에서 진행되는 도심쇠퇴현상에 영향을 미치는 물리·환경적 요인, 도시·경제적 요인, 사회·문화적 요인 등을 고려하여 분석하였다. 또한 사회·경제적 상호의존관계 또는 인과관계를 규명하기 위해 도시의 등질지역과 결절지역을 이용한 통합적 도시공간구조분석도 시행되었다(손승호, 2004).

그러나 도시는 단순히 생태적 과정이나 사회·경제적 활동에 의해 생성되는 산물이 아니라, 정부정책의 역할에 의해 영향을 받기도 한다. 정부주도의 하향식 개발에 의한 신도시 개발이나 재개발과 같은 도시계획 및 정책은 일정한 기능을 수행할 수 있도록 도시의 공간구조를 결정짓는 주요 역할을 한다. 예를 들어, 교통혼잡지역을 우회하여 미개발지에 도로를 신규로 건설하여 교통량을 분산시킨다든지, 노후화된 중심업무지구를 포함한 도심인접지역(inner city)을 재개발하여 새로운 시장기능을 창출하게 하는 도심재활성화도 정책의 힘에 의한 것이다. 특히 도시의 공간적 패턴을 결정하는 주요 원인인 도로는 공공정책의 산물이라고 할 수 있다. 도로의 건설이 공간적 패턴에 미치는 영향은 상당하다. 도로의 건설로 인적·물적 이동이 원활해지고, 이로 인한 주변지역으로의 접근성이 양호해져 지가의 상승과 함께 생산자서비스와 같은 고차산업의 발달을 가져오게 된다. 이러한 상황이 지속되어 포화상

태에 이르게 되면, 도로를 신설·확장하여 기존 지역의 기능을 분산시키기도 한다. 또한 도시의 공간패턴에 중대한 영향을 미치는 경제적 요인들도 조세제도나 정부의 정책에 의해 도시의 분산과 집중을 좌우할 수 있기 때문에 도시내부의 성장이나 쇠퇴에 중대한 영향을 끼친다(Bourne, 1991). 이처럼 도시구조는 정책이라는 테두리 안에서 복잡한 사회·경제적 요소의 끊임 없는 상호작용에 의해 형성되며 소멸될 수도 있는 유기체인 것이다. 특히 도시구조와 도시교통 사이에는 매우 밀접한 공생적 관계가 존재하고 있다. 대부분의 도시민들은 일상생활을 하기 위해 각자의 목적에 따라 이동해야 하기 때문이다. Thompson(1977, 93-97)은 도시의 교통전략을 전자동차전략(full motorisation strategy)·중심지경감전략(weak center strategy)·중심지강화전략(strong center strategy)·저비용전략(low-cost strategy)의 네 유형으로 구분하면서 교통망이 도시의 공간구조를 좌우할 수 있다고 지적하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 도시의 공간구조는 하나의 요소가 아니라 복합적인 요소에 의해 변화한다는 사실을 확인할 수 있다. 도시공간을 구성하는 조성·조직·구조의 세 메커니즘은 별개로 존재하는 것이 아니라 서로 유기적 관계를 맺으면서 상호작용 또는 인과관계에 의해 형성된다. 즉 다양한 종류의 조성요소는 각기 다른 형태를 취하면서도 동질적 요소 간은 물론 이질적 요소 간에도 관계를 맺으면서 조직을 이룬다. 특히 조성이란 메커니즘은 이들 요소 간의 상호관계뿐만 아니라 조직상태의 차이로도 파악될 수 있다(남영우, 2007, 38). 따라서 본 연구에서는 공간구조를 형성하는 사회·경제적 요인과 정책의 산물이자 물리적 환경인 도로망을 중심으로 서울시의 공간구조를 형성하는 조직 메커니즘에서 도로가 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 이를 통해 이들이 서로 어떠한 영향을 주고받으며 어느 것이 선행요인이며 어느 것이 후행요인지에 대해 파악하여 각 시기별 공간상의 분포패턴을 규명하고자 한다.

2. 연구모형 정립 및 측정변수 선정

1) 구조방정식의 개념과 가설적 연구모형 정립

일반적으로 도시는 도로망의 형성, 인구분포의 변화, 산업의 발달, 토지이용 패턴 등의 단일 요인에 의해서만 변화되는 것이 아니라 이들 요소들이 상호 작용 또는 인과관계에서 변화한다고 보아야 마땅하다(대한국토·도시계획학회, 2005, 112-113). 도로망의 형성과 같은 공간의 물리적 변화에 따라 인구나 산업, 토지이용과 같은 사회·경제적 환경이 변화하고, 도시의 공간구조가 달라지며, 그 반대의 관계도 성립된다고 할 수 있다. 이를 규명하기 위해 본 연구에서는 정치·경제·사회의 중심인 서울시를 대상으로 비약적인 경제발전이 이루어지기 시작한 1970년대부터 30년간의 시간적인 측면을 토대로 공간구문론¹⁾에 의해 산출된 1970~2000년대의 도로망 특성치²⁾가 인구·산업·토지 등의 사회·경제적 인자와 어떠한 유기적 관계를 맺는지 살펴보고자 한다. 분석방법은 인자분석과 회귀분석의 개선적 결합 형태인 구조방정식모형(Structural Equation Model: SEM)을 원용하였으며, 이 방법은 다수의 독립변수와 종속변수 간의 인과성을 동시 추정할 수 있는 모형이다.

구조방정식모형은 1970년대 초 Jöreskog(1973)가 기존의 경로분석과 인자분석을 기반으로, 잘 알려진 LISREL이라는 프로그램의 개발을 통하여 구축되었다. 이 모형은 측정 변수들 간의 공분산을 이용하여 상호관계구조를 분석하는 것으로, 최대우도법에 의한 동시 추정법을 개발함으로써 시작되었다(이학식·임지훈, 2007, 5). 구조방정식모형은 측정모형과 이론모형을 통해서 모형 간의 인과관계를 파악하는 방정식 모형이다(김계수, 2007). 구조방정식 모형은 잠재요인, 측정변수, 오차의 3가지 항으로 구성된다. 여러 개의 독립변수와 종속변수가 존재할 경우 이 변수 간의 인과관계를 분석하기 위해서는 회귀분석을 수차례 실시해야 하지만, 구조방정식을 이용하면 변수 간의 관계를 동시에 추정할 수 있다. 또한 기존의 회귀분석에서는 측정오차를 고려하지 않고, 결과를 도출하기 때문에 결

과의 정확성이 문제시 되는 경우가 있다. 그러나 구조방정식에서는 측정오차를 고려하여 결과를 제시하기 때문에 인과관계를 파악하는 데 보다 합리적이고 신뢰성 확보에 만전을 기할 수 있다는 특징이 있다. 본 연구에서는 SPSS와 호환이 용이하고 그래픽 기반의 다양한 모델링 능력을 지닌 AMOS 6.0 을 사용하였다.

일반적으로 구조방정식은 모형을 설정하고 검증하여 그에 맞는 측정변수를 수집하고 경로모형을 구축한 후, 모형의 식별작업을 거쳐 정립된다(Abramson et al., 2005, 566). 먼저, 연구모형을 정립한 후, 탐색적 인자분석을 실시하여 변수군을 분류하고, 중요도가 낮은 변수를 제거하여 타당성을 확보하였다. 둘째, 타당성이 확보된 잠재변수와 측정변수를 이용하여 경로모형을 구축한 후 모형을 식별하였다. 셋째, 식별된 모형은 적합도 지수를 통하여 적합성 여부를 판단하고, 적합도가 양호한 경우 도시의 실체를 잘 반영하는 것으로 간주하여 이에 따른 인과관계를 정립하였다. 시기별 인과관계의 중요도는 구조방정식의 잠재지표별 총효과(직접효과+간접효과)를 고려하여 산출하였으며, 이는 공간분석 시 각 인자별 가중치로 사용할 수도 있다.

이러한 과정을 통해 1977년, 1987년, 1997년, 2006년 각각의 시기별 구조방정식모형을 구축하여 각 측정변수 간의 횡단적인 인과관계 분석을 통해 시기별로 모형설명력이 강한 인자들을 파악하고자 하였다. 또한 시기별 연구모형의 변수 간 인과관계의 중요도가 어떻

게 변화하는지를 살펴보고, 그 원인에 대해 분석해 보고자 한다. 이를 위해 먼저 가설적 연구모형을 정립해야 하는데 이를 위한 기본전제는 다음과 같다. 도로는 시대적·환경적 수요에 의해 만들어지는 정부정책의 산물이다. 일반적으로 공공정책에 의해 토지이용계획이 이루어지고, 기반시설인 도로망이 만들어진다. 도로망의 정비로 통행량이 증가하여 접근성이 높아지면 지가를 상승시켜 새로운 토지시장이 형성된다. 또한 도로의 결절점에는 상공업이 발달하며 전략적 중심지가 형성되기도 한다. 이를 바탕으로 산업이 성장하고, 산업의 발달은 인구유입을 초래하는 주요 원인이 된다. 그러나 제도·경제·사회·문화적 변화에 따라 산업의 쇠퇴가 진행되어 인구의 유출이 이루어져 다시 지가 하락으로 이어지는 끊임없는 순환작용을 하게 된다. 이렇듯 도시의 성장과 쇠퇴에 따른 이합집산은 도시공간이 확대 또는 축소되는 구조적 변화를 초래한다. 이러한 순환적 관계 속에서 사회·경제적 지표와 도로망과의 인과관계를 밝히기 위하여 가설적인 연구모형을 다음과 같이 설정하였다(그림 1).

첫째, 인구·산업·토지관련 지표가 물리적 환경인 도로망의 형성에 영향을 미칠 것이다. 둘째, 도로망의 형성에 따라 인구밀도나 연령별 인구·가구 수와 같은 인구관련 지표가 변화할 것이다. 또한 도로가 발달하고 접근성이 높은 지역일수록 제1차 산업에 비해 제2·3차 산업의 비중이 커질 것이다. 矢田(1982) 역시 신기술의 도입에 따라 산업구조가 변화하게 되며, 이

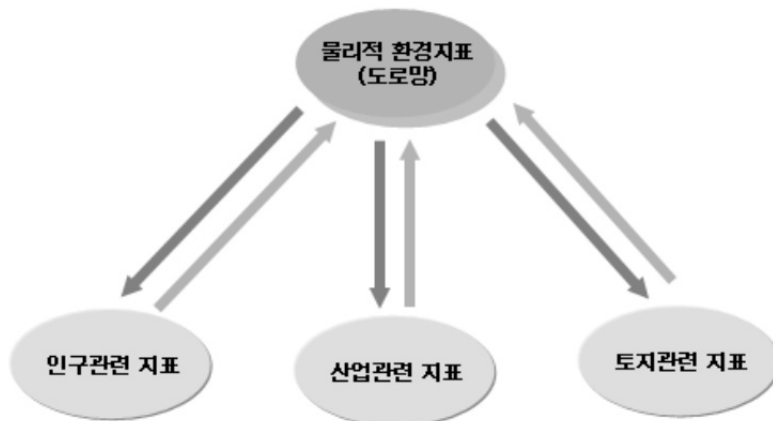


그림 1. 도로망과 지표간의 가설적 관계

는 도시공간구조의 변화를 초래한다고 주장한 바 있다. 도로망의 확충에 따라 토지이용패턴 역시 도시면적, 즉 시가화율이 증가하고 도로와의 접근성이 높은 지역이 상업지역이거나 주거지역지가 높게 나타날 것이다. Giuliano(1995, 310-341)는 교통이 접근성을 결정하며 접근성은 토지이용에 영향을 주고, 토지이용은 활동패턴 결정에 영향을 주어 다시 교통에 영향을 끼치는 상호의존적인 관계라고 기술하였다. 셋째, 본 연구의 분석기간인 1970년대부터 2000년대까지 약 30년 동안 도로망이 사회·경제적 지표에 미친 영향과 그 반대 경우에 미치는 영향은 차이가 있을 것이다. 예를 들어, 강남개발이 본격화되는 1970년대에는 도로망의 신규 확충이 활발히 이루어지는 시기이므로 도로망이 사회·경제적 지표에 미치는 영향이 그 반대 경우보다 더 클 것이라 하는 가정이다. 또한 1980년대부터는 도로시설이 포화상태에 이르러 도로정비가 미비하게 일어나 도로가 사회·경제적 지표에 미치는 영향력보다는 반대의 경우가 더 영향력을 미칠 것이라고 추정해 볼 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 도시의 공간패턴에 주요한 영향을 미치는 도로망과 사회·경제적 지표 간의 인과관계를 구조방정식모형을 통하여 규명하고자 한다. 그러나 사회·경제적 지표 간의 인과관계는 모형

의 간명성을 저해할 우려가 있으므로 본 연구의 범주에는 포함시키지 않았다. 따라서 앞에서 언급한 3개의 가설적 연구모형을 정립하여 각 지표를 대표할 수 있을 것으로 간주되는 측정변수의 선정은 시도해 보았다.

2) 측정변수의 선정방법과 절차

측정변수 선정을 위해 기존의 이론적 배경을 참고로 인구관련 지표, 산업관련 지표, 토지관련 지표, 도로관련 지표로 크게 4가지 측면으로 구분하여 영향을 끼칠 변수를 임의로 추출하였다(표 1).

서울시의 동별 사회·경제적 변수에 관한 자료를 취득할 수 있는 시기가 1977년이므로, 이를 시점으로 10년 단위인 1987년, 1997년, 2006년의 해당 측정변수는 동일한 방법으로 추출되었다(그림 2). 먼저 인구 및 산업관련 지표는 서울통계연보, 서울시 각 구별 통계연보, 인구주택 총조사보고서, 총사업체 통계조사보고서 등의 관련 통계자료를 토대로 각 동별로 작성되었다. 둘째, 토지관련 지표 중 각 동별 평균상업지가와 평균주거지가는 한국감정원(1977, 1987)과 부동산테크사이트의 자료(1997, 2006)를 기준으로 각 동별 평균지가를 추출하였다. 각 동별 시가화율과 녹지율은 위성

표 1. 잠재지표별 측정변수

잠재 지표	측정 변수	
인구관련 지표(POP)	x_1 : 총인구 x_3 : 여자 인구수 x_5 : 15~64세 인구 x_7 : 가구수	x_2 : 남자 인구수 x_4 : 인구밀도 x_6 : 65세 이상 인구
산업관련 지표(IND)	x_8 : 제1차 산업 사업체수 x_{10} : 제2차 산업 사업체수 x_{12} : 제3차 산업 사업체수	x_9 : 제1차 산업종사자수 x_{11} : 제2차 산업종사자수 x_{13} : 제3차 산업종사자수
토지관련 지표(LAND)	x_{14} : 상업지역 평균지가 x_{16} : 시가화율	x_{15} : 주거지역 평균지가 x_{17} : 녹지율
도로관련 지표(ROAD)	x_{18} : 연결도 x_{20} : 평균깊이 x_{22} : 국지적 통합도	x_{19} : 통제도 x_{21} : 전역적 통합도

주: 상기 지표 및 변수는 연구의 분석기간에 해당하는 4개의 시점(1977, 1987, 1997, 2006년)에 동일하게 적용됨.

영상자료를 토대로 토지피복분류도를 작성하여 산정하였으며, 이를 위해 ESRI사의 Erdas Imagine 9.0과 ArcGIS 9.2 프로그램을 이용하였다. 또한 미국지질조사국의 Landsat영상을 이용하여 서울시의 각 동별 수치지도인 벡터자료를 기반으로 기하보정 후, 감독분류를 실시하였고, 도시지역·하천지역·녹지 등 3개의 등급으로 분류하였다. 여기서는 서울시 경계 안에 있는 자료만을 추출하기 위해 마스킹작업을 하였다. 경계가 추출된 격자형의 래스터데이터를 벡터포맷으로

변환한 후, 그리드 코드를 이용하여 도시지역에 해당하는 '1' 값과 녹지에 해당하는 '3' 값을 추출하여 시가지 지역과 녹지로 분리하였다. 이를 각 행정구역(동)과 교차시켜 각 동별 시가지지역과 녹지로 분리된 데이터의 면적은 각각 필드 계산기를 이용하여 VBA Script로 계산하였다. 최종적으로 각 동별 전체 면적대비 시가지 면적과 녹지면적으로 환산하여 백분율로 속성값을 입력하였다. 이는 면적값을 그대로 입력할 경우 각 동의 면적이 일정하지 않음으로 인한 오류를 최소화하기 위한

구분		입력변수 자료 및 추출방법	비고
인구 / 산업 관련 지표	인구	<ul style="list-style-type: none"> - 서울통계연보 - 서울시 각 구별 통계연보 - 총인구 및 주택조사보고서 - 인구 및 주택센서스보고서 - 인구주택총조사보고서 - 수도권 장기 종합교통계획 수립에 관한 연구 - 총사업체통계조사보고서 - 사업체기초통계조사보고서 	단위 지역별 수치입력 DB화 • mdb 포맷으로 저장
	산업		
토지 관련 지표	상업지가	<ul style="list-style-type: none"> - 토지시가지조사표 - 부동산테크 (http://www.ret.co.kr) - 온나라 부동산정보 통합포털(http://www.onnara.go.kr) 위성영상자료 (Landsat) → 자료의 벡터화 → 면적산출 (시가지, 녹지) - 기하보정 - 데이터변환 - 행정구역별 공간연산 (인터섹트) - 감독분류 - 그리드코드 이용 토지피복 분류 - 필드계산기 면적산출	표준지가 비율환산 DB화 • mdb 포맷으로 저장
	주거지가		
	시가지율		
	녹지율		
도로 관련 지표	연결도	도도망 디지털이징 → 축선도 제작 (Axial Map) → 공간조인 (Spatial Join) - 1:5,000 행정구역노 - 5개의 공간 구문론 지표 계산 - 행정구역별 계산된 도로 지표 추출 - 1:5,000 지형도	지역별 평균값 입력 DB화 • mdb 포맷으로 저장
	통제도		
	평균길이		
	전역적 통합도		
	국지적 통합도		

그림 2. 지표별 변수입력의 방법 및 절차

자료: 수도권 장기 종합교통계획 수립에 관한 연구, 1978, 서울특별시.
 인구 및 주택센서스보고서 제2권 시·도편 - 서울특별시(13-1), 1987, 경제기획조사통계국.
 인구주택총조사보고서-서울특별시편, 1990, 통계청.
 토지시가지조사표, 1977, 1987, 한국감정원.
 총사업체통계조사보고서-전산업편, 1987, 경제기획원 조사통계국.
 총인구 및 주택조사보고: 전주소사-서울특별시편(12-2), 1975, 경제기획원 조사통계국.

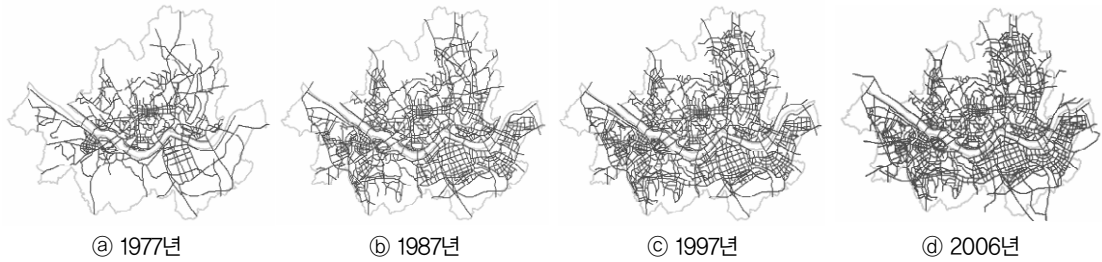


그림 3. 시기별 서울시의 도로망

자료: 서울시정개발연구원, 1994; 2000

이다. 셋째, 도로관련 지표는 앞서 언급한 바와 같이, 공간구문론을 이용하여 각 연도별 도로망도 기반의 축선도를 작성하였다(그림 3). 완성된 축선도에서 추출된 연결도·통제도·평균길이·전역적 통합도·국지적 통합도는 GIS 중첩분석의 일종인 공간중첩을 이용하여 각 행정구역별로 재배분하였다. 각 지표의 분석단위별 평균값을 계산하여 최종적인 도로관련 자료를 구축하였다. 상기에서 언급한 방법으로 추출된 속성값들은 각 시기별·행정구역별로 원자료 형태로 입력되어 도로망과 사회·경제적 지표 간의 인과관계를 분석하기 위한 통계자료로 사용하였다.

3. 탐색적 인자분석을 이용한 타당성 분석

구조방정식 모형을 구축하기 위해 전술한 바와 같이 측정변수와 그에 따른 잠재변수를 선정하기 위하여 각 시기별로 탐색적 인자분석을 실시하였다. 인자분석은 두 개 이상의 변수 간에 상관이 있는 경우, 변수의 공통점을 측정하는 통계방법으로 중요도가 낮은 변수를 제거하여 통계량을 간결화 할 때 사용한다. 이는 분석 목적에 따라 탐색적 인자분석과 확인적 인자분석으로 구분할 수 있다. 전자는 기존의 가설이나 이론이 없는 경우 기본적인 구조를 탐색하는 방법으로 전통적인 인자분석을 의미한다. 후자는 이론이 정립된 상태에서 변수 간의 관계를 설정하고 입증하는 데 초점을 두며 통상적으로 인자의 수가 사전에 결정된다. 따라서 본 연구에서는 잠재지표에 대한 해당 측정변수 선정이 이

루어져야 하므로 탐색적 인자분석을 실시하였다.

이를 위해 각 연도별 분석단위 수와 초기 변수의 수를 상관행렬로 만들어 변수간 상관관계를 측정하였다. 그 후 특정 변수 간의 상호관련성을 탐색하기 위해 인자부하량이 어느 한 인자에 높게 나타나도록 인자축을 회전시킨다. 이는 추출인자의 해석을 명확히 하는 데 도움이 되는 과정이다. 회전방식은 직교회전방식 중 인자 간의 특성을 최대화하는 배리맥스회전법을 선정하였다. 변수선정의 기준은 추출된 인자에 의해 설명되는 비율을 나타내는 공통성을 저해하는 변수(≤ 0.4)와 인자부하량이 0.5 이하인 변수를 제거하는 방법으로 이루어졌다. 여기서는 중요도가 낮은 변수를 제거한 후, KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)의 표준적합도와 인자분석 모형의 적합성 여부를 판단하는 Bartlett 구형성 검정치가 유의한지를 확인한다.

이러한 판단기준을 토대로 앞서 기술한 측정변수 22개를 대상으로 인자분석을 실시한 결과, 먼저 1977년에는 22개의 측정변수 중 공통성을 저해하는 5개의 변수를 제외한 17개의 변수가 선정되었다(표 2). 제외된 변수는 총인구, 제1차 산업체수 및 종사자수, 녹지율과 평균길이의 5개였다. 이들 변수를 제거한 후 모형의 적합성과 설명력을 측정해본 결과, KMO값이 0.771로 높게 나타났다. Bartlett 구형성 검정치의 유의수준은 0.00으로 0.05보다 작아 자료의 상관이 4개의 인자에 적합한 것임을 알 수 있다. 따라서 1977년 구조방정식 모형의 활용변수로 4개의 인자를 각각의 잠재지표로 선정하고, 이에 포함된 17개의 변수를 측정변수로 채택하였다. 고유치는 인자가 설명하는 분산의 양을 나타내므로 이 값이 큰 인자일수록 중요한 인자라고 할

표 2. 측정항목에 대한 인자분석 결과(1977년)

항목 인자	인자부하량(공통성)	고유치	개별 설명량 (%)	전체 설명량 (%)
인구 관련 인자	$x_2: 0.963 (0.967)$ $x_3: 0.957 (0.964)$ $x_5: 0.979 (0.974)$ $x_6: 0.966 (0.936)$ $x_7: 0.965 (0.968)$	5.140	30.234	30.234
토지 관련 인자	$x_4: 0.640 (0.697)$ $x_{14}: 0.740 (0.615)$ $x_{15}: 0.806 (0.678)$ $x_{16}: 0.802 (0.778)$	3.687	21.689	51.923
산업 관련 인자	$x_{10}: 0.898 (0.830)$ $x_{11}: 0.789 (0.676)$ $x_{12}: 0.749 (0.595)$ $x_{13}: 0.779 (0.748)$	2.896	17.038	68.961
도로 관련 인자	$x_{18}: 0.684 (0.916)$ $x_{19}: 0.792 (0.799)$ $x_{21}: 0.608 (0.811)$ $x_{22}: 0.685 (0.896)$	2.067	12.158	81.119

KMO=0.771 $\chi^2=2540.413$ df=136 sig.(p)=0.000

표 3. 측정항목에 대한 인자분석 결과(1987년)

항목 인자	인자부하량(공통성)	고유치	개별 설명량 (%)	전체 설명량 (%)
인구 관련 인자	$x_2: 0.936 (0.928)$ $x_3: 0.918 (0.877)$ $x_5: 0.923 (0.893)$ $x_6: 0.859 (0.770)$ $x_7: 0.825 (0.705)$	4.163	27.751	27.751
도로 관련 인자	$x_{18}: 0.919 (0.929)$ $x_{19}: 0.848 (0.763)$ $x_{21}: 0.699 (0.518)$ $x_{22}: 0.916 (0.899)$	3.126	20.841	48.592
산업 관련 인자	$x_{10}: 0.825 (0.723)$ $x_{11}: 0.732 (0.542)$ $x_{12}: 0.818 (0.697)$ $x_{13}: 0.818 (0.691)$	2.731	18.206	66.798
토지 관련 인자	$x_4: 0.852 (0.814)$ $x_{16}: 0.882 (0.831)$	1.570	10.470	77.268

KMO=0.718 $\chi^2=5961.302$ df=105 sig.(p)=0.000

표 4. 측정항목에 대한 인자분석 결과(1997년)

항목 인자	인자부하량(공통성)	고유치	개별 설명량 (%)	전체 설명량 (%)
인구 관련 인자	$x_2: 0.988 (0.981)$ $x_3: 0.985 (0.976)$ $x_5: 0.988 (0.978)$ $x_6: 0.903 (0.829)$ $x_7: 0.980 (0.964)$	4.979	29.288	29.288
도로 관련 인자	$x_{18}: 0.961 (0.951)$ $x_{19}: 0.927 (0.867)$ $x_{21}: 0.503 (0.575)$ $x_{22}: 0.905 (0.903)$	2.942	17.304	46.592
산업 관련 인자	$x_{10}: 0.788 (0.682)$ $x_{11}: 0.802 (0.668)$ $x_{12}: 0.799 (0.688)$ $x_{13}: 0.706 (0.708)$	2.721	16.005	62.596
지가 관련 인자	$x_{14}: 0.683 (0.689)$ $x_{15}: 0.868 (0.770)$	1.781	10.474	73.070
토지 관련 인자	$x_4: 0.762 (0.774)$ $x_{16}: 0.870 (0.836)$	1.417	8.337	81.408

KMO=0.782 $\chi^2=10529.325$ df=136 sig.(p)=0.000

표 5. 측정항목에 대한 인자분석 결과(2006년)

항목 인자	인자부하량(공통성)	고유치	개별 설명량 (%)	전체 설명량 (%)
인구 관련 인자	$x_2: 0.988 (0.979)$ $x_3: 0.990 (0.984)$ $x_5: 0.991 (0.985)$ $x_6: 0.890 (0.827)$ $x_7: 0.972 (0.951)$	4.193	28.899	28.899
산업 관련 인자	$x_{10}: 0.826 (0.730)$ $x_{11}: 0.874 (0.765)$ $x_{12}: 0.832 (0.757)$ $x_{13}: 0.772 (0.765)$	2.936	17.273	46.172
도로 관련 인자	$x_{18}: 0.967 (0.951)$ $x_{19}: 0.900 (0.829)$ $x_{21}: 0.502 (0.504)$ $x_{22}: 0.919 (0.897)$	2.899	17.055	63.226
지가 관련 인자	$x_{14}: 0.857 (0.822)$ $x_{15}: 0.902 (0.816)$	2.001	11.773	75.000
토지 관련 인자	$x_4: 0.692 (0.673)$ $x_{16}: 0.860 (0.788)$	1.273	7.491	82.491

KMO=0.720 $\chi^2=11836.154$ df=136 sig.(p)=0.000

수 있는데, 추출인자의 고유치는 인구(5.140), 토지(3.687), 산업(2.896), 도로(2.067) 관련 인자의 순으로 높게 나타났다. 이 4개의 인자가 설명하는 전체 설명량은 약 81%인데, 인구 관련 인자가 약 30%로 가장 높은 개별 설명량을 보이며, 도로가 약 12%로 가장 낮은 개별 설명량을 보였다. 토지 관련 인자는 인구밀도, 상업 평균지가와 주거 평균지가, 시가화율의 4개 변수를 포함하는 인자로 분류되었는데, 이들 중 인구밀도와 시가화율의 상관관계가 0.712로 강한 연관성을 갖는 것으로 나타났다.

1987년에는 22개의 측정변수 중 공통성을 저해하는 7개의 변수를 제외한 15개의 변수가 선정되었고, 고유치는 인구(4.163), 도로(3.126), 산업(2.731), 토지(1.570)의 순으로 높게 나타났다(표 3). 이 4개의 인자는 전변동의 약 77%를 설명하는데, 인구 관련 인자가 27%로 가장 높은 개별 설명량을 보이며, 토지 관련 인자가 약 10%로 가장 낮은 개별 설명량을 지닌다. 이는 1977년의 개별 설명량이 인구, 토지, 산업, 도로의 순으로 나타났던 것과는 다른 양상을 보이는 것이며, 특히 도로 관련 인자의 설명량이 약 20%로 높게 나타났다. 또한 토지 관련 인자는 상관성이 없는 것으로 판명된 지가 변수가 제거되는 대신에 인구밀도와 시가화율 변수가 선정되었다. 인구밀도는 평균상업지가(0.053)와 평균주거지가(0.004)와 낮은 상관관계를 보이며 무관한 것으로 나타났고, 시가화율(0.539)과는 여전히 정(+)의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

1997년 구조방정식 모형의 활용변수로 5개의 인자를 각각의 잠재지표로 선정하고, 이에 포함된 17개의 변수를 측정변수로 채택하였다(표 4). 추출인자의 고유치는 인구(4.979), 도로(2.942), 산업(2.721), 지가(1.781), 토지(1.417) 관련 인자의 순으로 높게 나타났다. 1987년에 제거되었던 지가 관련 변수인 평균상업지가와 평균주거지가가 0.470의 상관성을 보이며 재진입하였다. 총 5개의 인자가 약 81%의 전체 설명량을 가지며, 여전히 인구 관련 인자가 약 29%로 가장 높은 개별 설명량을 보였다.

2006년 구조방정식 모형의 활용변수로는 5개의 인자를 각각의 잠재지표로 선정하고, 이에 포함된 17개의 변수를 측정변수로 채택되었다(표 5). 추출인자의 고유

치는 인구(4.913), 산업(2.936), 도로(2.899), 지가(2.001), 토지(1.273)의 순으로 높게 나타났다. 그리고 5개 인자의 전체 설명량은 약 82%로 나타났다. 1997년과 비교하여 인구(약 29%), 산업(약 17%) 관련 인자에 이어 도로 관련 인자가 세 번째로 높은 약 17%의 개별 설명량을 보였다. 이상에서 살펴본 바와 같이 해당 시기마다 측정변수와 잠재변수의 선정에 약간의 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이는 당시의 사회·경제적 현상과 많은 연관성이 있기 때문일 것으로 사료된다.

4. 구조방정식 모형 분석과 적합성 평가

탐색적 인자분석을 통해 타당성 검증을 거친 측정변수를 이용하여 구조방정식 모형을 구축하고자 한다. 이를 위하여 가설적 모형을 토대로 2개의 경로도형을 설정하여 모형을 확인하고, 그 적합성 여부를 판단하여 각 인자별 상호간에 미치는 영향력의 크기와 그에 따른 중요인자를 도출하였다. 구조방정식 모형에 대한 적합성은 판단기준의 차이가 있긴 하나, 기본적으로 절대적합측도³⁾, 증분적합측도⁴⁾, 간명적합측도⁵⁾의 수용기준을 통해 결정된다(Hu and Bentler, 1995). 이러한 적합도 판단기준에 따라 도로망의 형성과 사회·경제적 속성 간의 두 가지 유형의 인과관계모형을 제시하여 어떠한 모형이 적합한지의 여부와, 이러한 인과관계가 각 시기별로 동일한지의 여부를 분석하였다.

먼저 가설적 연구모형을 토대로 인자분석을 실시하여 도출된 측정변수와 잠재변수를 이용하여 두 개의 순환형 구조방정식 모형, 즉 도로망이 사회·경제적 속성에 영향을 준다는 가설적 모형1과 사회·경제적 속성이 도로망의 형성에 영향을 미치는 가설적 모형2의 경로도형으로 구축하였다(그림 4). 이 두 개의 제안모형을 대상으로 전체적인 구조모형을 검정하였다. 전술한 바와 같이 구조방정식의 적합도는 일반적으로 카이검정의 확률값이 0.05보다 커야하고, GFI와 AGFI 같은 절대적합측도는 1.00에 가까울수록 좋은 모형으로 본다. 마찬가지로 증분적합측도인 NFI와 CFI도 0.90

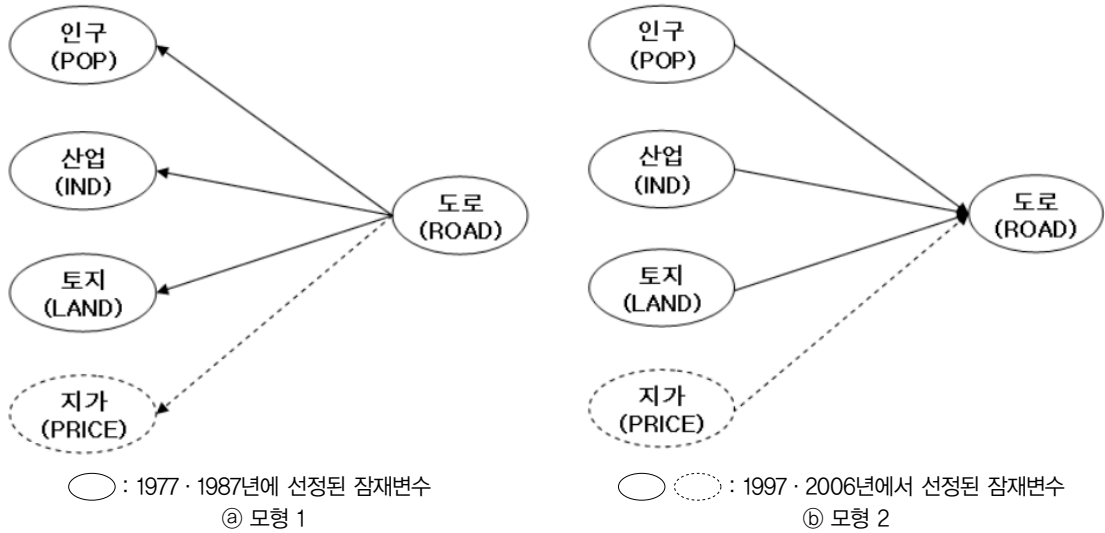


그림 4. 연도별 도로망과 지표간의 가설적 관계

이상이면 매우 양호한 모형이며, 원소간 차이를 보여주는 RMR은 0.05 이하일 경우 적합한 것으로 간주된다.

그 결과, 1977년에는 모형 1의 경우 GFI와 AGFI값이 각각 0.780과 0.686으로 절대적합측도가 전반적으로 낮은 반면, 모형 2의 경우에는 $\chi^2=268.381$ 로 적합도 기준($p>0.05$)에 미치지 못하는 것을 제외한 대부분의 적합지수가 기준치 이상을 기록하였다(표 6). 또한 간명지수인 AIC 역시 모형 1에 비하여 모형 2가 낮은 수치를 보이며 더욱 적합한 모형으로 판명되었다. 이 시기에는 도로망의 형성에 따른 사회·경제적 인자의 영향보다는 그 반대의 경우가 인과관계를 설명하는 데 더욱 적합한 모형임을 보여주고 있다.

사회·경제적 인자가 도로망 형성에 영향을 주는 모형 2에서 경로계수의 유의성 검정 결과를 보면, 결정률은 회귀분석 산출시의 t값을 의미하며, 1.96보다 크거나 -1.96보다 작을 때 회귀계수가 유의미한 수치임을 나타낸다(표 7). 우선, 인구관련 인자가 도로관련 인자에 영향을 미치는 지에 대해 분석한 결과는 $t=-7.521 > -1.96$ 로 유의미한 것으로 나타났다. 그러나 부(-)의 계수 값을 가지므로 인구분포가 상대적으로 희박한 지역에 도로가 형성됨을 알 수 있다. 산업관련 인자가 도로관련 인자에 미치는 영향의 회귀계수는

2.248로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다($t=4.57 > 1.96$). 제2·3차 산업체수와 종사자수는 도로망 형성에 정(+)의 영향을 미친다고 추정할 수 있다. 토지관련 인자 역시 도로관련 인자에 유의미한 영향($t=3.935 > 1.96$)을 미치며 기존의 연구가설 3개는 모두 채택되었다.

전체 구조방정식모형의 표준화된 경로계수를 살펴보면 인구가 도로에 미치는 경로계수는 -0.53로 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다(그림 5). 이는 간선 도로를 위주로 하여 인구가 많이 거주하는 지역보다는 도로건설에 필요한 토지를 수용하기에 용이한 지역을 선정하여 도로망이 구축되었기 때문일 것으로 사료된다. 또한 제2·3차 산업이 입지한 지역에 도로망이 발달되며, 도시화 및 지가와 같은 토지관련 인자는 도로망형성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 표준화된 경로계수를 이용하여 인자 간에 영향을 주는 간접효과와 직접효과를 곱해 총 효과를 산출할 수 있다. 그러나 구조방정식모형 검증결과에서 나타나는 바와 같이 중간단계를 거치는 과정이 없기 때문에 표준화된 경로계수가 표준화된 총 효과와 동일시 될 수 있다. 여기서는 산업관련 인자가 도로관련 인자에 미치는 인과관계, 즉 총 효과가 0.41로 가장 높은 것을 알 수 있다. 이는 1977년 서울의 경우 산업관련 인자가 도로에 미

표 6. 시기별 모형의 적합도 평가

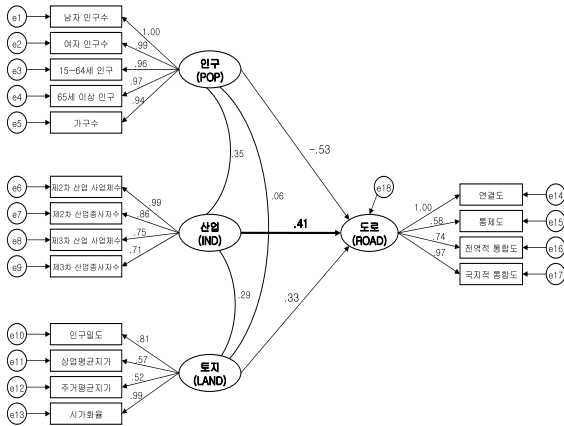
㉠ 1977년			㉡ 1987년		
모형 1 (사회경제적 인자 → 도로관련인자)	적합도 기준	모형 2 (도로관련 인자 → 사회경제적 인자)	모형 1 (사회경제적 인자 → 도로관련인자)	적합도 기준	모형 2 (도로관련 인자 → 사회경제적 인자)
291.969	χ^2	268.381	715.456	χ^2	406.074
107	df	105	83	df	77
0.000	P	0.000	0.000	P	0.000
2.729	Q	2.556	8.620	Q	5.274
0.780	GFI	0.924	0.828	GFI	0.899
0.686	AGFI	0.890	0.751	AGFI	0.842
0.020	RMR	0.023	0.051	RMR	0.047
0.902	NFI	0.910	0.914	NFI	0.951
0.935	CFI	0.942	0.923	CFI	0.960
383.969	AIC	364.381	789.456	AIC	492.074

㉢ 1997년			㉣ 2006년		
모형 1 (사회경제적 인자 → 도로관련인자)	적합도 기준	모형 2 (도로관련 인자 → 사회경제적 인자)	모형 1 (사회경제적 인자 → 도로관련인자)	적합도 기준	모형 2 (도로관련 인자 → 사회경제적 인자)
688.003	χ^2	810.365	661.900	χ^2	883.542
96	df	94	87	df	87
0.000	P	0.000	0.000	P	0.000
7.167	Q	8.621	7.608	Q	10.156
0.892	GFI	0.856	0.894	GFI	0.839
0.827	AGFI	0.765	0.813	AGFI	0.749
0.017	RMR	0.032	0.012	RMR	0.012
0.946	NFI	0.937	0.955	NFI	0.922
0.953	CFI	0.943	0.961	CFI	0.929
802.003	AIC	928.365	793.900	AIC	981.542

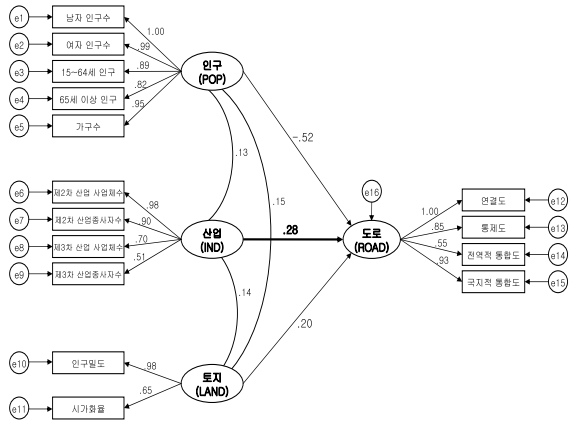
주: χ^2 (카이 검정), df(자유도), P(확률값), Q(χ^2/df), GFI(기초적합 지수), AGFI(조정부합 지수), RMR(평균제곱잔차 제공근), NFI(표준적합 지수), NFI(표준적합 지수), CFI(비교적합 지수), AIC(아카이케정보기준치)

표 7. 시기별 인과관계 계수의 유의성 검정 결과

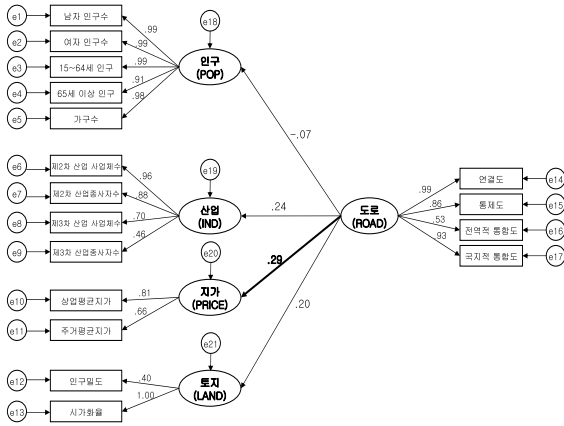
	경로	회귀계수	표준오차	결정율	P값	채택여부
1977년	인구관련 인자 → 도로관련 인자	-2.983	0.397	-7.521	0.000	채택
	산업관련 인자 → 도로관련 인자	2.248	0.492	4.570	0.000	채택
	토지관련 인자 → 도로관련 인자	1.072	0.272	3.935	0.000	채택
1987년	인구관련 인자 → 도로관련 인자	-2.116	0.176	-12.059	0.000	채택
	산업관련 인자 → 도로관련 인자	0.831	0.135	6.171	0.000	채택
	토지관련 인자 → 도로관련 인자	0.369	0.75	4.905	0.000	채택
1997년	도로관련 인자 → 인구관련 인자	-0.007	0.004	-1.830	0.067	기각
	도로관련 인자 → 산업관련 인자	0.021	0.004	5.340	0.000	채택
	도로관련 인자 → 지가관련 인자	0.011	0.002	5.585	0.000	채택
	도로관련 인자 → 토지관련 인자	2.482	0.523	4.742	0.000	채택
2006년	도로관련 인자 → 인구관련 인자	0.002	0.006	0.402	0.688	기각
	도로관련 인자 → 산업관련 인자	0.054	0.009	6.020	0.000	채택
	도로관련 인자 → 지가관련 인자	0.015	0.003	4.426	0.000	채택
	도로관련 인자 → 토지관련 인자	0.002	0.001	1.845	0.065	기각



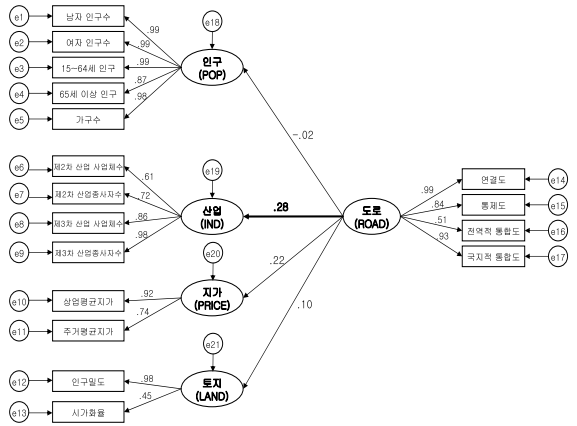
1977년(구조방정식모형 2의 검증결과)



1987년(구조방정식모형 2의 검증결과)



1997년(구조방정식모형 1의 검증결과)



2006년(구조방정식모형 1의 검증결과)

그림 5. 시기별 구조방정식모형 분석결과

치는 영향이 가장 컸다는 사실을 의미하는 것이다.

1987년에는 모형 1의 경우 GFI와 AGFI값이 각각 0.828과 0.751로 절대적합측도가 전반적으로 낮은 반면, 모형 2의 경우, $\chi^2=406.074$ 로 적합도 기준($p > 0.05$)에 미치지 못하는 것을 제외한 대부분의 적합지수가 기준치 이상을 기록하였다. 이는 표본의 수가 453개로 증가하면서 카이검정치가 상승한 것으로 여겨진다. 그러나 이를 제외한 간변지수인 AIC 역시 모형 1에 비하여 모형 2가 낮은 수치를 보이며 더욱 적합한 모형으로 판명되었다. 이 시기에는 도로망의 형성에 따른 사회·경제적 인자의 영향보다는 그 반대의 경우가 인과모형을 설명하는데 더욱 적합한 모형임을 나타

내주고 있다. 1970년대와 마찬가지로 1980년대에도 인구가 도로에 미치는 경로계수는 -0.52로 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 제2·3차 산업이 발달된 지역에 도로망이 발달되며, 도시화 및 지가와 같은 토지관련 인자는 도로망의 형성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 산업관련 인자가 도로관련 인자에 미치는 인과관계, 즉 총 효과가 0.28로 가장 높지만, 이는 1970년대에 비하여 그 영향력이 약화된 셈이다. 지가관련 변수가 탈락된 토지관련 인자는 이전 시점에 비해 영향력이 0.13 감소된 0.20으로 나타났다.

1997년에는 모형 1의 경우 GFI와 AGFI값이 각각 0.892와 0.827로 절대적합측도가 0.9 이상이어야 한다

는 적합지수의 기준치를 넘지 못하였다. 그러나 증분 적합측도는 NFI가 0.946, CFI가 0.953으로 기준치를 상회하였으며, GFI=0.856, AGFI=0.765인 모형 2와 비교하여도 설명력이 있는 모형으로 판명되었다. 또한 간명지수인 AIC 역시 모형 2에 비하여 모형 1이 낮은 수치를 보이며 더욱 적합한 모형임을 입증하였다. 그러나 모형 1의 $\chi^2=688.003$, 모형 2의 $\chi^2=810.365$ 로 유의미하지 못한 값을 보이는 이유는 표본의 수가 530개로 증가하면서 나타나는 현상으로 여겨진다. 1990년대에 들어와 도로가 사회·경제적 인자에 미치는 영향이 그 반대의 경우보다 인과관계를 설명하는 모형이 더 적합한 것으로 나타났다. 다시 말해 도로망의 형성이 인구관련 인자를 제외하고는, 제2·3차 산업의 발달, 지가의 형성, 도시화와 같은 토지관련 인자에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 도로관련 인자는 지가의 형성에 0.29에 달하는 가장 많은 영향을 미쳤지만, 산업관련 인자에 미치는 인과관계는 0.24, 토지관련 인자에 대한 영향력은 0.20으로 비슷한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2006년에는 모형 1의 경우 GFI와 AGFI값이 각각 0.894와 0.813으로 절대적합측도가 0.9 이상이어야 한다는 적합지수의 기준치를 통과하지 못하였다. 그러나 증분적합측도는 NFI가 0.955, CFI가 0.961로 기준치를 상회하였으며, GFI=0.839, AGFI=0.749인 모형 2와 비교하여도 설명력이 있는 모형으로 판명되었다. 또한 간명지수인 AIC 역시 모형 2에 비하여 모형 1이 낮은 수치를 보이며 더욱 적합한 모형임을 입증하였다. 2000년대 역시 도로가 사회·경제적 인자에 미치는 영향이 그 반대의 경우보다 인과관계를 설명하는 모형이 더 적합한 것으로 나타났다. 다시 말해 도로망의 형성이 인구와 토지관련 인자를 제외하고는, 제2·3차 산업의 발달, 지가의 형성에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 도로관련 인자는 산업의 발달에 0.28의 가장 많은 영향을 미치며, 지가관련 인자에 미치는 인과관계는 0.22로 나타났다.

5. 요약 및 결론

도시는 도로망의 형성, 인구분포의 변화, 산업의 발달, 토지이용 패턴 등의 단일적인 요인에 의해서만 변화되는 것이 아니라 이 모든 요소들이 상호 유기적인 관계를 가지고 변화한다고 볼 수 있다. 도시구조는 다양한 사회·경제적 특성으로 이루어진 도시구성요소의 공간적 배열양식이며 이 각각의 요소가 기능적으로 조직된 공간적 통합체로 인식된다. 이러한 공간적 배열양식은 시간의 흐름에 따라 각기 다른 양상의 상호작용 또는 인과관계에 의해 변화된다. 도로망의 형성과 같은 공간의 물리적 변화에 따라 인구나 산업, 토지이용과 같은 사회·경제적 환경이 변화하고 도시의 공간구조가 달라지며, 그 반대의 관계도 마찬가지라 할 수 있다. 이를 규명하기 위해, 본 연구에서는 1977~2006년까지의 도로망형성 패턴이 인구·산업·토지이용 등의 사회·경제적 인자와 어떠한 유기적 관계를 맺는지 살펴보았다.

각 시기별로 행해진 구조방정식모형을 적용한 결과, 각 시기별로 약간의 차이가 관찰되었는데, 특히 1980년대를 전후로 모형의 구조가 변형되는 징후를 발견할 수 있었다. 1970년대와 1980년대에는 전반적으로 인구, 산업, 토지 등의 사회·경제적 지표가 도로망의 형성에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히 산업의 발달이 도로망의 형성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한 인구가 도로에 미치는 경로계수는 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 간선 도로를 위주로 하여 인구가 많이 거주하는 지역보다는 도로건설에 필요한 토지를 수용하기에 용이한 지역을 선정하여 도로망이 구축되었기 때문일 것으로 추정된다. 1990년대에 들어와서는 1980년대와 달리 도로가 사회·경제적 인자에 미치는 영향이 그 반대의 경우보다 인과관계를 설명하는 모형의 적합도가 더 높게 나타났다. 다시 말해 도로망의 형성이 인구관련 인자를 제외하고는, 제2·3차 산업의 발달, 지가의 형성, 도시화와 같은 토지관련 인자에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 이 시기에는 도로관련 인자가 지가형성과 산업발달에 가장 많은 영향을 미치며, 이러한 추세는

2006년에도 유사하게 나타났다. 이와 같은 결과는 도시구조와 도시교통이 긴밀한 공생적 관계에 있다고 주장한 Thompson(1977)의 이론과 같은 맥락에서 이해될 수 있다. 또한 1990년대를 전후하여 도로정비의 진척은 사회·경제적 구조에 영향을 미치고 또 이것은 궁극적으로 도시공간구조에 영향을 주었음이 밝혀졌다. 이러한 결과는 矢田(1982)가 지적한 바와 같이 기술혁신→산업구조→지역구조의 순으로 영향이 한 방향으로 파급되어 간다는 이론과 합치된다.

이상에서 고찰한 것과 같이, 서울시의 경우 도시공간구조를 주도하는 사회·경제적 지표간의 인과관계는 각 시기별 선행요인과 후행요인이 다른 양상으로 나타남을 알 수 있었다. 고차산업의 성장이 두드러지기 시작한 시기에는 사회·경제적 지표가 도로망의 형성에 영향을 주었으며, 산업의 발달이 어느 정도 정체가 된 시기에는 도로망의 형성이 산업구조에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 또한 공간구조를 형성하는 조직 메커니즘의 관점에서 보면, 산업과 토지이용, 도로와의 관계는 정(+)의 구성요소로, 인구와 도로의 관계는 부(-)의 구성요소로 파악되었다. 이러한 요소들은 신도시개발과 같은 도시정책 수립 시에도 중요하게 다루어져야 한다.

이와 같이 구조방정식은 각 변수간의 인과관계를 파악함에 있어서 각각의 대표성을 띠는 변수로 다중의 지표를 동시에 추정할 수 있으며, 이를 통한 구조계수를 산출하여 직·간접효과를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 측정 자료의 크기에 따라 민감하게 영향을 받으며, 잠재변수에는 최소 2개 이상의 측정변수가 있어야만 변수간의 관계가 형성될 수 있다는 단점이 있다. 오차의 분산이 부(-)이거나 너무 큰 경우에는 모형 자체의 타당도와 신뢰도를 재검토해 볼 필요가 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 다변량 정규분포의 표본을 이용하여 단일모형보다는 복수의 경쟁모형을 가지고 적합도를 평가하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 구조방정식모형에서 사회·경제적 인자와 도로망과의 인과관계 분석 시 양측방향만을 고려한 연구가설을 수립하여 비교 검증하였다. 그러나 현실세계에서는 이러한 두 가지 측면에서의 인과관계

뿐만 아니라 사회·경제적 인자 내에서의 인과성도 고려해 보아야 할 필요가 있다. 이 경우의 모형은 더욱 더 복잡성을 띠게 되어 간명성을 저해할 우려가 있으므로 모형 정립 시 이론에 근거한 합리적인 방법을 모색하여야 할 것으로 사료된다. 이러한 연구의 한계점을 보완하여 교통로와 관련한 도시공간구조를 분석한다면 향후 도시의 성장과정을 예측할 수 있고, 이를 바탕으로 도시정책 수립 시 정책결정에도 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

주

- 1) 공간구문론은 전통적인 그래프이론의 원리를 응용한 각각의 공간에 의해 구별되는 것이 아니라 상관성이 존재하는 하나의 일정한 체계로 공간을 해석하고 접근하는 방법이다 (Hillier and Hanson, 1984, 52-82). 이 이론은 건축학 및 도시공학분야에서 파생된 것으로 Hillier(2002)를 주축으로 하여 만들어진 공간분석법이다. 공간구문론은 공간의 물리적 구조를 분석하여 수치화 시킬 수 있는 점과, 인접지역뿐만 아니라 전체 공간과의 관계 정도도 파악할 수 있다는 장점이 있다.
- 2) 공간구문론의 분석방법 중 도로를 단위축으로 하는 분석을 실시하였다. 단위축의 공간분석에서 사용하는 특성치는 연결도, 통제도, 평균깊이, 전역적 통합도, 국지적 통합도 등이 있다. 연결도와 통제도는 공간의 국지적인 특성을 보여주는 공간구문론의 특성지표로 해석된다. 연결도는 특정단위의 공간에 접해 있는 공간의 수를 의미하며, 이는 한 공간에서 다른 공간을 거치지 않고 직접 갈 수 있는 접근도를 측정할 때 사용된다. 따라서 연결도가 높다는 것은 동선의 중심적 공간임을 시사하는 것이다. 통제도는 공간의 연결도를 발전시킨 개념으로 한 공간에 인접된 주변공간들에 대한 그 공간의 통제 정도를 의미한다. 공간의 평균깊이는 특정 축선 공간에서 다른 축선 공간으로 이동할 때 거치게 되는 최소한의 축선의 수를 의미한다. 전역적 통합도는 분석대상 범위내의 축선도에 포함된 모든 축선(공간)들을 기점과 종점으로 가정했을 때, 즉 특정한 축선에서 다른 모든 축선으로의 깊이를 기준으로 계산한 통합도를 가리킨다. 따라서, 특정 공간의 전역적 통합도가 크다는 것은 다른 모든 공간으로의 접근성이 크다는 것을 의미한다. 국지적 통합도(local integration value)는 분석대상으로 한 공간 중 몇 개의 공간들만을 고려한 부분적인 공간구조의 특성을 보여준다.
- 3) 절대적합측도는 모형의 전반적인 적합성을 평가하는 지수로

카이제곱, 기초적합지수(Goodness of Fit Index: GFI), 조정적합지수(Adjusted GFI: AGFI), 평균제곱잔차제곱근(Root Mean-Square Residual: RMSR)으로 수용가능 여부를 판단한다(김계수, 2007). 카이제곱 통계치는 크면 클수록 통계적으로 기각될 가능성이 크며 표본규모에 민감하다. GFI는 표본공분산 행렬을 설명하는 비율을 나타내는 지표로 0.00~1.00 사이의 값을 취한다. 이는 주어진 모형이 모집단을 얼마나 잘 설명하는지를 나타내는 지표로 회귀분석의 결정계수와 관련이 있으며, 이는 구조방정식의 결정계수라고 할 수 있다. AGFI는 적합도지수를 자유도에 의해 조정할 경우 구해지며, 일반적으로 적합도지수가 수정적합지수에 비해 그 값이 크거나 같다. 따라서 수정적합지수는 회귀분석의 수정된 결정계수로 간주할 수 있다. 이 두 개의 지수가 1.00에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 평가할 수 있다(Jöreskog and Sörbom, 1993). RMSR은 적합지수와는 반대로 모형이 설명할 수 없는 표본공분산행렬의 잔량을 한 셀(cell)당 평균으로 나타낸 지표이므로 작을수록 좋다. RMSR은 일반적으로 RMR로 표기하며, 절대적 비교기준이 없으나, 통상적으로 0.05 이하이면 모형이 적합하다고 판단할 수 있다.

- 4) 중분적합측도는 기초모형에 대한 제안모형의 부합도를 평가하는 표준적합지수(Normed Fit Index: NFI)와 비교적합지수(Comparative Fit Index: CFI)가 있다. NFI는 표준화시킨 부합치로 표본의 크기에 민감하여 표본의 크기가 작을 경우, 지수가 심하게 작아지고, 표본이 500개 이상인 경우는 커지는 경향이 있다. CFI는 기초모형과 제안모형의 차이를 비교하는 데 사용하며, 이 두 가지 지수 모두 0.90 이상이면 적합한 모형이라고 할 수 있다.
- 5) 제안모형의 적합수준, 즉 모형의 복잡성과 객관성의 차이를 비교하는 것으로 간명적합측도를 들 수 있다. 간명적합측도에는 간명기초 적합지수(Parsimonious Goodness-of-Fit Index: PGFI)와 아카이케 정보기준치(Akaike Information Criteria: AIC)가 있다. PGFI는 가설모형의 복잡성—예를 들어, 추정치 모수의 수—등을 고려하는 것으로 알려져 있으며 대체모형의 값을 비교하여 1.00에 가까울수록 적합한 모형으로 간주한다(Cliff and Ord, 1981). AIC는 간명성의 문제뿐만 아니라 통계적 적합도 및 추정치 모수의 수를 고려하며, 이 값이 작을수록 가설모형의 적합도를 높일 수 있다.

참고문헌

김계수, 2007, New AMOS 16.0 구조방정식 모형분석, 한나래.

남영우, 2007, 도시공간구조론, 법문사.

대한국토·도시계획학회 편저, 2006, 도시계획론, 보성각.

대한국토·도시계획학회 편저, 2005, 토지이용계획론, 보성각.

이학식·임지훈, 2007, 구조방정식 모형분석과 AMOS 6.0, 법문사.

손승호, 2004, 사회·경제적 속성과 공간상호작용으로 본 서울시의 지역구조, 고려대학교 대학원 박사학위논문.

형시영, 2006, “구조방정식 모형을 이용한 도심쇠퇴 현상의 영향요인에 관한 연구,” 한국거버넌스학회보, 13(2), 1-22.

石水照雄, 1974, 都市の空間構造理論, 大明堂, 東京.

矢田俊文, 1982, 産業・配置地と地域構造, 大明堂, 東京.

Abramson, R., Rahman, S., and Buckley, P., 2005, Tricks and traps in Structural Equation Modelling: a GEM Australia example using AMOS Graphics, *Proceedings of ABBSA Conference*.

Baerwald, T. J., 1978, The emergence of a new downtown, *Geographical Review*, 68(3), 308-318.

Bourne, L. S.(ed.), 1982, *Internal Structure of the City: Readings on Urban Form, Growth, and Policy*, 2nd Edition, Oxford University Press, New York.

Bourne, L. S., 1991, The roepke lecture in economic geography recycling urban systems and metropolitan, *Economic Geography*, 67(3), 185-209.

Cliff, A. D. and Ord, J. K., 1981, *Spatial Processes: Models and Applications*, Pion, London.

Giuliano, G., 1995, *Land Use Impacts of Transportation Investments: Highway and Transit. in Geography of Urban Transportation*, 2nd Edition, Guilford Press, New York.

Hillier, B., 2002, A theory of the city as object, *Urban Design International*, 7, 153-199.

Hillier, B. and Hanson, J., 1984, *The Social Logic of Space*, University of Cambridge Press, Cambridge.

Hu, L. T. and Bentler, P. M., 1995, Evaluating model fit, in Hoyle, R. H.(ed.), *Structural Equation*

김정희

Modelling: Concepts, Issues and Applications,
Thousand Oaks, Sage, CA, 76-99.

Jöreskog, K. G., 1973, A general method for estimating a linear structural equation system, in Goldberger, A. S. and Duncan, O. D.(eds.), *Structural Equation Models in the Social Sciences*, Seminar Press, New York.

Jöreskog, K. G. and Söbom, D., 1993, *LISREL 8: Structural Equation Modelling with the SIMPLIS Command Language*, Chicago Software International, Chicago.

Park, R. E., 1952, *Human Communities*, Free Press, New York.

Thompson, M., 1977, *Great Cities and Their Traffic*,

Peregrine, London.

교신: 김정희, 330-707, 충청남도 천안시 성환읍 매주리 21 남
서울대학교 지리정보공학과(이메일: bear0819@paran.
com, 전화: 010-4549-8273)

correspondence: Junghee Kim, Department of Geoinformatic
Engineering, Namseoul University, 21 Maeju-ri,
Seonghwan-eup, Cheonan-city, Choongnam, 330-
707, Korea(e-mail: bear0819@paran.com, phone: +82-
10-4549-8273)

최초투고일 09. 11. 09

수정일 09. 12. 02

최종접수일 09. 12. 18