

도시 철도 개통에 따른 대중교통이용 편익측정을 위한 대안적 평가모델 : 지하철 9호선을 사례로

An Alternative Evaluation Model for Benefit Measurement of Public Transportation by the Open of Urban Railway : Seoul Metro Line 9

주 용 진*

Yong Jin Joo

요 약 저탄소 녹색성장 패러다임에 맞춰 지하철은 대중교통 활성화를 위한 도시 교통의 핵심 운송 수단이다. 지하철은 대량 수송, 교통체증완화, 교통사고 감소 등의 역할 뿐 아니라 노선 확장에 따라 도시 공간과 네트워크상의 승객 수요의 변화를 촉진시킨다. 현재 수요예측을 주축으로 노선계획이 이루어지고 있어, 지하철 노선 변화에 따른 교통 접근성과 승객 수요 변화를 위한 실증적인 연구가 미비하다. 이에 본 연구의 목적은 공간구문론을 이용한 사전사후 분석을 통해 지하철 개통에 따른 대중교통 영향성을 네트워크의 연결성, 승객 이동성 측면에서 정량적으로 예측 할 수 있는 대안적 평가 방법론을 제시하는 것이다. 우선 2009년 개통된 서울시 지하철 9호 선을 중심으로 도시 철도 네트워크를 구축하고, 공간 구문 모델을 통해 9호선이 개통됨에 따른 네트워크의 위상적 변화 패턴을 분석하였다. 또한, 모델 측정 결과를 검증하기 위해, 서울시 교통 카드시스템의 역간 지하철 승차 인원수와 버스 노선별 승차 인원수 자료를 이용하여, 경쟁 노선을 대상으로 버스 이용객의 수단 전환과 주요 환승역에서 승객 수요 변화를 분석하였다. 결론적으로 본 연구 방법론을 통해 지하철 노선 계획에 있어 승객수요변화를 가시화하고 노선 추가에 따른 전후 시공간적 변화 분석이 가능하였으며, 향후 주변 대중교통의 영향성과 실제 대중교통 이용자의 이동패턴에 대한 효과적인 공간적 변화 분석에 활용될 것으로 기대한다.

키워드 : GIS 프로그래밍, 공간구문모형, 도시철도 네트워크, 대중교통 이용수요, 위상적 분석

Abstract In accordance with low carbon and green growth paradigm, a subway is one of major public transit systems for resolving traffic congestion and decreasing traffic accidents. In addition, as subway networks expand, passengers' travel pattern in the subway network change and consequently affect the urban structure. Generally, new subway route has been planned and developed, mainly considering a travel demand forecast. However, it is desired to conduct an empirical analysis on the forecast model regarding change of travel accessibility and passenger demand pattern according to new subway line. Therefore, in this paper, an alternative method, developed based upon a spatial syntax model, is proposed for evaluating new subway route in terms of passenger's mobility and network accessibility. In a case study, we constructed subway network data, mainly targeting the no 9 subway line opened in 2009. With an axial-map analysis, we calculated spatial characteristics to describe topological movement interface. We then analyzed actual modal shift and change on demand of passengers through the number of subway passenger between subway stations and the number of passenger according to comparative bus line from Smart Card to validate suggested methods. Results show that the proposed method provides quantitative means of visualizing passenger flow in subway route planning and of analyzing the time-space characteristics of network. Also, it is expected that the proposed method can be utilized for predicting a passengers' pattern and its impact on public transportation.

Keywords : GIS Programming, Space Syntax Model, Subway Network, Public Transportation Demand, Topological Analysis

† 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF- 2009-413-D00001).

* 서울시립대학교 도시과학연구원 융합도시연구센터 연구교수 yjoo75@uos.ac.kr(교신저자)

1. 서론

1.1 연구 배경과 목적

도시의 에너지 사용에 따른 급속한 기후변화는 전 세계적으로 에너지 저소비를 지향해나가기 위한 다각적인 노력이 이루어지고 있다. 이러한 국제적인 상황에서 우리나라는 2009년 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가발전 패러다임으로 세워 그 중요성을 강조하고 있다. 특히 교통 분야는 도시 전체 에너지 소비의 약 31%를 차지하고 대기오염의 약 80%를 주도하고 있기 때문에 이에 따라 차량 교통을 줄이고 대중교통 이용을 늘리려는 정책이 시행되고 있다. 이러한 대표적인 정책 중 하나가 대중교통중심으로 도시교통 수단을 전환시키는 것이며, 대표적인 대안으로 지하철 건설을 들 수 있다.

지하철 건설은 서울시의 교통부문 에너지 소비량 및 탄소배출량을 감소시키는 대안으로 평가받고 있으나, 도시의 공간구조 측면¹⁾에서 살펴보면, 수직적 확장과 평면적 확장을 수반한 성장으로 도시의 확장에도 영향을 미친다. 다시 말하면, 지하철은 교통수요에 따른 대량 수송, 교통체증완화, 교통사고 감소 등의 역할만 하는 것이 아니라 노선에 따라 광범위한 지역에 걸쳐 교통 연계성, 이동성 등의 대규모 도시공간변화를 촉진시킨다. 따라서 새로운 지하철 노선 계획에 있어 사전사후 공간적 변화에 대한 분석이 필요하나 현재로서는 수요예측을 주축으로 노선 계획이 이루어지고 있다. 또한 기존의 연구는 지하철 역세권 중심의 도시공간분석, 대중교통 이용수요 분석 등이 활발히 이루어지고 있으나 지하철 노선 변화에 따른 사전사후 교통 연계성, 접근성 등 공간적 변화에 관한 분석 연구는 미비한 상태이다. 이에 본 연구의 목적은 공간구문모델²⁾(Space Syntax Model) 이용한 사전사후 분석을 통해 지하철 노선 계획에 있어 승객 수요변화를 가시화하고 지하철의 노선 변화에 따른 대중교통 개선 효과를 교통 연계

성, 승객 이동성 측면에서 정량적으로 예측할 수 있는 대안적 평가 방법론을 제시하는 것이다.

1.2 연구 내용과 방법

본 연구의 공간적 범위는 서울의 행정구역에 위치하고 있는 도시철도 노선망을 공간단위로 설정하였다(그림 1). 특히 2005년도부터 현재까지 복선전철화가 진행 중인 중앙선, 2009년에 서울역~문산역(46km) 구간이 개통된 경의선과 2009년 비슷한 시기에 개통된 개화역~신논현역(27km)구간의 9호선을 주된 분석 대상으로 한다. 시간적 범위는 최근 개통된 9호선 지하철 노선 개통을 전후로 구분하여 설정하였다.

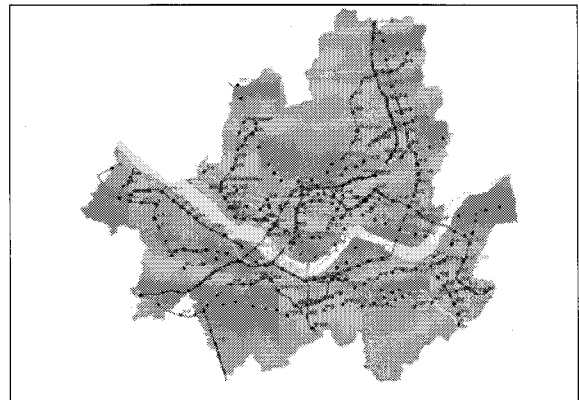


그림 1. 연구의 공간적 범위 (1~9호선)

본 연구를 위한 구체적인 방법론은 크게 4가지 단계로 구분하여 접근하였다. 첫째, 도시 공간 구조와 교통 네트워크와 이용자 행태 분석 등에 공간구문모델을 활용한 연구를 검토하고 연구의 방향 및 착안점을 정립하였다. 둘째, 공간적 분석대상 지역인 서울시의 도시철도망 및 승객이용수요관련 변수와 공간구문모델을 활용하기 위한 기초자료를 구축하였다. 특히, 9호선 개통 전후에 따른 특성을 반영한 도시철도망 구축을 위한 자료수집과 공간구문모델 분석을 위한 축선도(Axial Map)를 구축하였다. 셋째, 9호선 개통 전후에 따른 도시철도관련 공간구문모델의 특성치(전체 및 국부통합도, 통제도, 명료도)를 산출하여 네트워크의 위상적 변화 패턴을 분석하였다. 넷째, 모델 측정 결과를 검증하기 위해 교통 카드 시스템의 역간 지하철 승차 인원수와 버스 노선별 승차 인원수 자료를 이용하여, 정량화된 도시철도망 변화에 따른 특성치와 승객이용수요(도시철도 환승

1) Cadwallader(1985)는 도시성장의 유형을 외연·연접적(Spillover), 비지적(Leapfrogging), 간선도로망에 의해 도시가 확대되는 방사형 확장(Radial Expansion)으로 구분할 수 있다. Glaab and Brown(1967)은 통신이 발달한 현대사회는 교통과 통신이 동시에 도시구조의 형성 및 변화에 영향을 준다고 언급하였다.

2) 임의의 공간에 대한 접근성과 중심선에 대해 확률적 수치 및 공간적 상호연계성을 계수로 표현할 수 있게 해주는 장점이 있다 자료 : 연경환·황희연(2008)

역, 경쟁수단인 버스) 관계를 분석하고 실제적인 9호선과 주변 버스 노선의 이용객들의 통행 패턴을 살펴 보았다. 마지막으로, 제시된 결과를 종합하고 결론을 제시하였다.

2. 국내외 선행 연구 고찰

2.1 교통망 및 이용자 행태 분석

기존 연구에서는 공간구분모델을 이용한 도로망 분석에 관한 연구가 이루어져 왔다. Yu Han과 Tsou Jin-yeu[7]는 1920~2000년까지 시계열별로 중국의 Foshan지역의 가로네트워크의 변화를 통합도(Global, Local)를 활용하여 분석하였다. Zheng Xinqi 등[6]의 연구에서는 2006년도에 베이징의 교통 혼잡 문제를 해결하기 위해 공간구분모델을 새로운 도로망 계획에 평가기준으로 가능성을 분석하였다. 이병욱과 이승재[12]는 공간구분모델을 버스노선 개편에 따른 보행접근성 분석을 위해 적용하였으며, 교통 분야에서 보행자의 접근성을 정량적으로 시도한 연구이다. 이병욱의 연구에서 공간구분모델은 네트워크의 연결성이나 접근성을 정량적으로 쉽게 구할 수 있는 장점을 활용하였으며, 서울시 강남구의 버스노선 개편은 접근성 측면에서 효과가 있는 것으로 나타났다. 신행우[9]는 공간구분모델을 이용하여 보행네트워크의 특성과 토지이용별 통행량간의 관계 분석을 서울 도심, 송례문 중심으로 수행하였다. 분석결과, 보행네트워크와 보행통행량은 밀접한 관계가 있으며, 보행접근성 지표인 통합도(Integration)를 바탕으로 보행공간의 체계를 분석이 가능함을 언급하였다. 전철민[13]은 대중교통의 개별적 경로기반의 접근성을 측정하기 위해 대중교통의 환승 간에 토폴로지적인 유사성을 공간구분모델을 이용하였다. 채훈 등[16]의 연구에서는 공간구분모델을 이용하여 청계천 복원사업의 영향평가의 차원에서 복원 전·후 네트워크를 비교·분석하고, 이를 바탕으로 청계천 주변의 도시공간구조의 변화 및 보행특성, 건축물 용도변화와의 상관관계를 도출하고자 하였다. 주용진 등[14]은 우리나라 여건에 맞는 보행 환경의 서비스 수준과 보행 안전도 등에 대한 객관적 평가 모형을 개발하였다. 보행자 네트워크의 평가지표를 개발하고, 개발된 지표를 공간구분모델에 적용하여 보행자의 접근성 개선효과를 정량적으로 산출한 연구이다. 한기봉 등[17]의 연구는 부산의

2호선 개통에 따른 주변 역세권을 위성영상을 통해 분석 제시하였다.

2.2 도시 공간 구조 분석

도시 공간 구조에 관한 전반적인 선행연구는 시간적 변화에 초점을 맞춘 정량적 효과측정을 토대로 공간구조 분석을 수행하였다. 김영욱[8]은 서울의 인사동을 대상으로 공간이용량을 나타내는 통행량자료와 공간구조의 속성을 나타내는 공간위상도 사이의 상관관계를 규명하였다. 오충원[11]은 GIS와 공간구분론을 이용하여 도시공간구조와 상업시설 분포의 상관관계를 분석함으로써 안양시의 중심이동의 변화상을 파악하였다. 황희연과 윤두원[18]은 청주 생태공원의 적합성을 보존과 이용이라는 측면에서 관계성을 파악하였다. 연경환과 황희연[10]의 연구에서는 2008년도 청주시를 대상으로 공간구분모델을 이용한 가로망 분석이 이루어 졌으며 주용진[15]은 서울을 중심으로 도시 지역의 인구 및 공간구조와 교통 인프라 중 도로의 분포 패턴을 고려한 시공간 도시 형태를 상호 분석하였다. Alian Chiaradia 등[2]은 North London outer Borough지역(약 60,000 가구)의 주거부동산의 가격 변화를 통해 공간변화를 분석하였다. Kim과 Sohn[5]은 서울의 한강이남과 이북의 연결도와 통합도 등을 비교하여 도시내 상업시설의 분포와 도로 형태와의 상관관계를 제시하였다. Koseoglu과 Onder[4]는 터키지역 중 아이발리이 위치한 주거지역을 선정하고, 공간구분모델의 통합도(Integration)를 활용하여 주요 지형지물의 접근성을 평가하였다.

2.3 연구 착안점 도출

본 연구의 분석방법인 공간구분모델을 활용한 선행연구를 검토결과 공간구분모델이 도시공간구조 분석에 적용된 연구는 2000년을 전후하여 발표되기 시작하였다. 또한 지금까지 선행연구는 교통부문 중 도로망에 초점을 맞추어 진행된 연구로서 특히, 최근 보행 및 대중교통 접근성 및 연결성에 대한 정량화 분석을 위해 공간구분모델을 적용하는 연구가 시도되고 있으며, 접근성 및 연결성을 대변하는 평가 지표로 통합도가 활용되고 있음을 알 수 있다. 특히 공간구분모델의 공간 사이의 관계나 대중교통 환승은 모두 단계적으로 깊어지는 공간전이라고 볼 수 있어 대중교통 환승의 연결성과 유사성이 발견된다.

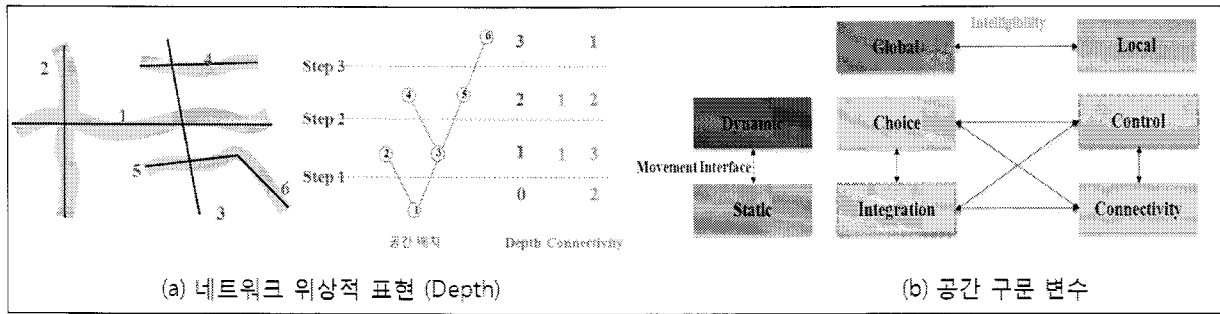


그림 2. 공간 구문 분석을 위한 축선과 변수의 구성

따라서 본 연구에서는 앞서 언급한 생태학적 접근방법의 주요한 원인인 도시공간구조 및 교통(가로망)의 정량적 변화를 측정하는 연구가 주를 이루고 있어 도시철도망을 공간구문모델과 GIS를 결합하여 보다 심층적인 공간구조의 변화를 분석할 것이다. 대중교통의 접근성을 측정하는데 있어 물리적인 거리가 아닌 위상적인 구조에 근거하여 측정하는 방법을 제시한다. 그러므로 본 연구에서는 단순히 시간적 변화에 초점을 맞춘 기존 공간형태(morphology) 연구와 달리 공간기능 패턴을 표현하는 도시철도의 직접 이용승객수요변화와 함께 경쟁노선인 버스노선 승객수요의 변화를 검토하여 보다 심층적인 분석과 시사점을 도출하고자 한다.

3. 도시철도 개통 교통편익 효과 측정

본 장에서는 9호선 개통 따른 도시철도 관련 공간구문모델의 특성치를 산출하여 철도 네트워크의 위상적 변화 패턴을 분석하였다. 즉, 전체 노선에 대한 거시적 분석과 주요 환승역에 대한 미시적 분석으로 나누어 도시 철도 개통에 따른 교통 편익에 대한 효과를 정량적으로 추정하였다.

3.1 도시 철도 노선별 거시적 분석

도시 철도 개통에 따른 전체 노선의 거시적 변화 패턴을 파악하기 위해 공간구문모델을 이용하여 계량적 분석을 실시하였다. 공간구문모델은 공간의 접근성을 물리적인 거리보다 가시성을 기준으로 정의하는 새로운 개념을 제시하여 공간구조가 가진 사회적 의미와 기능을 정량적으로 파악하는 방법론이다 [3]. 이는 물리적 거리의 개념과 다르게 깊이(Depth)라는 개념을 내포한다. 깊이는 특정 공간에서 다른 공간으로 이동될 때 거치게 되는 최소한의 축선

(Axial Line)의 개수를 의미하며, 인접한 공간 간의 깊이는 1이 된다. 평균깊이(Mean depth)는 다른 모든 공간으로부터 어떤 특정한 공간으로의 이동을 고려했을 때 얼마나 접근하기 어려운가의 정도를 말해 준다. 여기서 축선은 모든 공간을 최대길이와 최소개수인 직선으로 연결하여 구성한 것이다(그림 2). 이러한 축선을 활용하여 정량화 할 수 있는 공간 특성치는 연결도(Connectivity), 통합도(Integration)³⁾, 통제도(Control value), 명료도(Intelligibility)⁴⁾ 등이

표 1. 공간 구문 주요 변수

구분	의미
깊이	- 한 단위 공간을 기준으로 특정 공간까지 가는 과정에서 거치게 되는 최소한의 연결선들의 개수, - 상대적인 거리의 기본 단위
연결도	- 특정 단위공간에 접해있는 주변의 단위공간의 수
통제도	- 특정 지역적 단위공간이 이웃 공간들에 미치는 동적 영향력을 나타내는 수치 - 이웃한 단위공간에서 특정 i공간으로 올 수 있는 확률로 이웃한 단위공간들의 연결도에 대한 역수 값들의 합
통합도	- 특정 단위공간에서 다른 단위공간까지 접근하기 위한 상대적 깊이 - 특정 단위공간이 공간구조상에서 가지는 위계성의 정도, 접근성의 정도
명료도	- 공간 한 부분을 통해 전체공간을 인지할 수 있는 정도 (명료도와 공간인지도 관계 긍정 (+)) - 국부 통합도를 연결도 또는 전체통합도의 상관관계를 나타냄

3) 통합도는 전체통합도(대상지 전체)와 국부통합도(해당 공간 중심으로 3개 공간단 고려)로 구분한다. 전체통합도가 크다는 것은 전체 공간구조상 중심이 되며, 다른 모든 공간으로의 접근성이 크고 이동하기가 쉽다는 것을 의미 한다.

4) 서울 명동, 인사동 등의 상권 형성 지역이나 인지도가 높은 지역은 명료도가 매우 높게 나타난다.

있으며 개별적 의미는 표 1과 같다.

주된 분석 대상은 2005년도부터 현재까지 복선전철화가 진행 중인 중앙선, 2009년에 서울역~문산역(46km) 구간이 개통된 경의선과 2009년 비슷한 시기에 개통된 개화역~신논현역(27km)구간으로 하였다. 또한 시간적 범위는 최근 개통된 9호선 지하철 노선 개통을 전후로 구분하여 설정하였다. 축선도는 공간의 물리적 구조를 단위 축으로 하여 연결정도를 분석하는 것으로 철도 노선의 연결부분을 직선으로 교차시켜 작성하며, 구축된 도시철도망에 대한 분석결과는 그림 3과 같다.

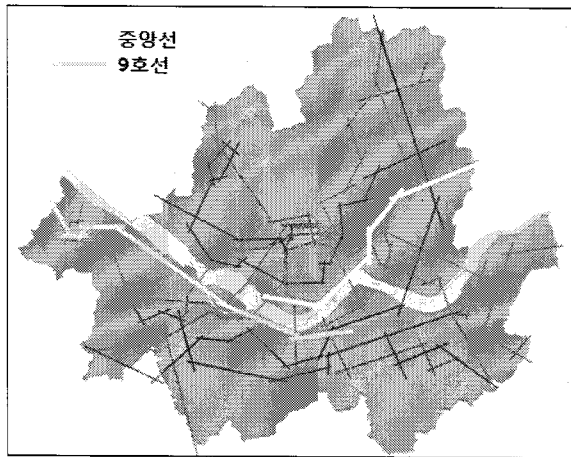


그림 3. 서울 도시철도망 Axial Map 구축결과

2005년부터 개통된 중앙선과 2009년 개통된 경의선과 9호선을 추가한 서울 지하철 축선도를 활용하여 공간구분분석을 수행하였으며, 결과는 표 2와 같다.

표 2. 노선별 특성치 분석결과 (평균)

호선	연결도	통합도	통제도
1호선	3.2	0.9399	0.97
2호선	3.3	0.9470	1.02
3호선	3.2	0.9887	1.02
4호선	3	0.9306	1.03
5호선	3	0.8990	1.06
6호선	2.9	0.8932	0.98
7호선	3	0.9319	1.05
8호선	3.3	0.9614	0.87
9호선	3.1	0.9700	0.93
중앙선	3.4	1.1288	0.89
경의선	3	0.9973	0.90
분당선	3	0.7944	0.97

1호선부터 9호선, 중앙선, 경의선, 분당선에서 연결도의 경우 중앙선이 3.4로 가장 높은 값을 보였으며 다음으로는 2호선과 8호선이 3.3으로 높은 값을 보였다. 접근성의 정도를 알 수 있는 통합도에서도 중앙선이 1.1288로 가장 높은 값을 보였고 다음으로는 경의선이 0.9973, 9호선이 0.97, 8호선이 0.9614로 결과 값이 나타났다. 연결성을 보여주는 통제도에서는 5호선이 1.06으로 가장 큰 값을 보였으며 다음으로는 7호선이 1.06, 4호선이 1.03, 2호선과 3호선이 1.02로 높은 값을 보였다.

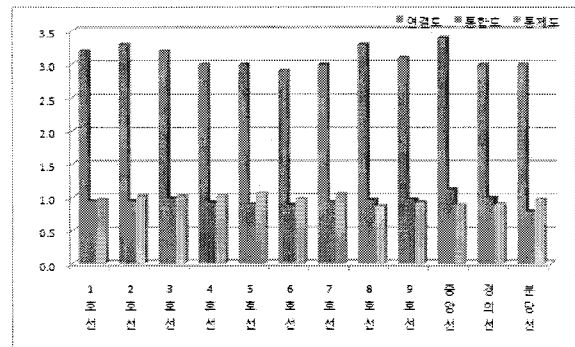


그림 4. 철도 노선별 효과 척도 비교

2009년 9호선의 개통 전후로 지하철 노선별 통합도 변화를 분석하였다. 9호선 개통 후로 통합도가 증가한 노선은 7호선이 0.8583에서 0.9318로 8.57% 증가하였고 분당선이 0.7341에서 0.7944로 8.21% 증가하였다. 다음으로는 5호선이 0.8337에서 0.899로 7.83% 증가하였고 8호선이 0.9038에서 0.9613으로 6.36% 증가한 것으로 나타났다.

표 3. 9호선 개통에 따른 노선별 통합도 변화

호선	개통 전	개통 후	증감률(순위)
7호선	0.8583	0.9319	8.57% (1)
분당선	0.7342	0.7944	8.21% (2)
5호선	0.8337	0.8990	7.83% (3)
경의선	0.9332	0.9973	6.87% (4)
8호선	0.9038	0.9614	6.37% (5)
3호선	0.9308	0.9887	6.22% (6)
2호선하행	0.8555	0.9037	5.63% (7)
2호선상행	0.9448	0.9903	4.82% (8)
1호선	0.9105	0.9399	3.23% (9)
중앙선	1.0937	1.1288	3.20% (10)
4호선	0.9029	0.9306	3.07% (11)
6호선	0.8685	0.8932	2.85% (12)

통제도의 경우 9호선 개통 후 4호선이 1.008에서 1.0313으로 3.05% 증가하였다. 다음으로는 5호선이 1.0426에서 1.0575로 1.43% 증가하였고 1호선이 0.9633에서 0.97로 0.69% 증가한 것으로 나타났다.

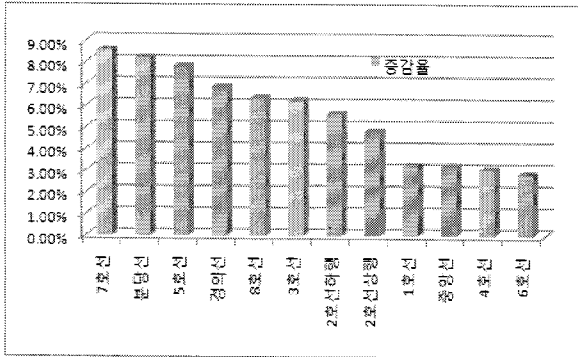


그림 5. 9호선 개통 후 전체 노선 통합도 변화

경의선, 8호선에서도 통제도가 증가한 것을 볼 수 있다. 하지만 1호선, 중앙선, 4호선, 6호선에서는 통제도가 감소한 것으로 나타났다.

표 4. 9호선 개통에 따른 노선별 통제도 변화

호선	개통 전	개통 후	증감률
7호선	1.0008	1.0313	3.05%
분당선	1.0426	1.0575	1.43%
5호선	0.9633	0.9700	0.69%
경의선	1.0167	1.0227	0.60%
8호선	0.9913	0.9962	0.49%
3호선	0.8722	0.8722	0.00%
2호선하행	0.9000	0.9000	0.00%
2호선상행	0.9722	0.9722	0.00%
1호선	1.0600	1.0550	-0.47%
중앙선	0.9890	0.9816	-0.75%
4호선	1.0604	1.0437	-1.57%
6호선	0.9152	0.8886	-2.91%

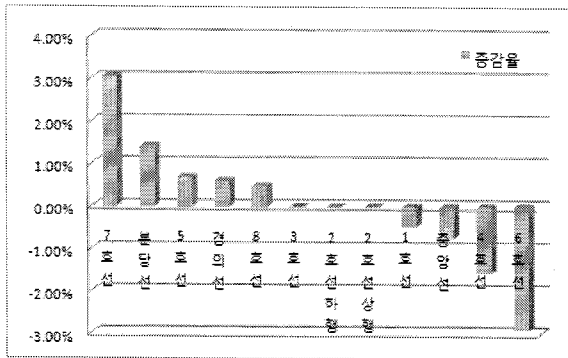


그림 6. 9호선 개통 후 전체 노선 통제도 변화

통합도와 통제도의 9호선 개통 후 증감률을 분석했을 때 9호선과 환승이 되는 7호선, 5호선, 3호선 등에서 증가량이 높은 것으로 나타났다. 9호선 개통 전후로 명료도의 변화를 알기 위해 연결도와 전체통합도의 상관관계 분석을 실시하였다. 그 결과 상관계수(R^2) 값이 개통 전에는 0.3781이었고 9호선 개통 후에는 0.4334로 증가하였다. 전체통합도와 국부통합도의 상관계수의 경우 9호선 개통 전에는 0.4641 값을 나타내었고 9호선 개통 후에는 0.5803으로 증가하였다.

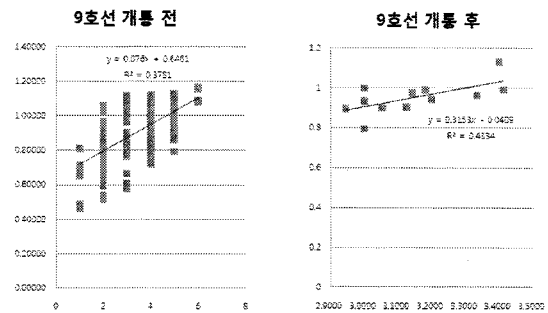


그림 7. 9호선 개통에 따른 연관성분석 (연결도-전체통합도)

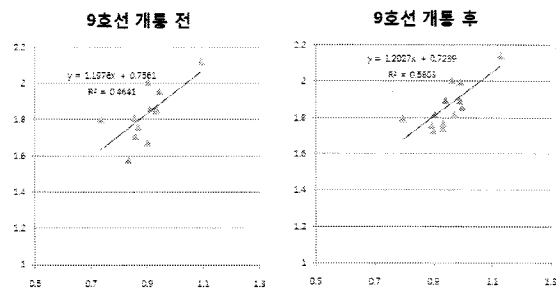


그림 8. 9호선 개통에 따른 연관성분석(전체통합도-국부통합도)

3.2 도시 철도 주요 환승역 미시적 분석

9호선 개통에 따른 지하철 주요 환승역 주변 노선의 통제도와 통합도 변화를 분석하였다. 분석결과 9호선과 환승이 되는 김포공항역, 당산역, 여의도역, 노량진역, 동작역, 고속터미널역 주변의 노선에서 통제도와 통합도의 변화가 나타났다. 통제도의 경우 김포공항역 5호선 구간에서 9호선 개통 전 1에서 9호선 개통 후 1.8333으로 83.33% 증가하였고 여의도역 5호선 구간에서 0.7에서 1.15로 64.28% 증가하였다. 다음으로는 4호선 동작역 구간에서 1.5에서 1.95

로 30% 증가하였고 2호선 당산역 구간에서 1.1666에서 1.4166으로 21.43% 증가하였다. 또한 7호선 고속터미널역 구간과 1호선 노량진역 구간, 3호선 고속터미널역 구간에서 15% 안팎으로 통제도가 증가하였다.



그림 9. 9호선 개통에 따른 환승역 분석

표 5. 9호선 개통에 따른 환승역 통제도 변화

환승역	개통 전	개통 후	증가율
김포공항역 (5호선)	1	1.8333	83.33%
여의도역 (5호선)	0.7	1.15	64.28%
동작역 (4호선)	1.5	1.95	30%
당산역 (2호선)	1.1666	1.4166	21.43%
고속터미널역 (7호선)	1.0833	1.2833	18.46%
노량진역 (1호선)	1.2833	1.4833	15.58%
고속터미널역 (3호선)	1.3333	1.5	12.50%

통제도가 증가한 환승역 주변 노선의 경우 통합도 값 또한 증가하였다. 5호선 김포공항역 구간의 경우 9호선 개통 전 1.056에서 9호선 개통 후 2.2986으로 117.66% 크게 증가하였다. 다음으로 5호선 여의도역 구간에서는 통합도가 1.3791에서 2.3538로 70.66% 증가하였고 4호선 동작역 구간에서는 2.2384에서 2.9271로 30.76% 증가하였다. 2호선 당산역 구간에서는 9호선 개통 전 통합도 값이 1.7741에서 9호선 개통 후 2.2732로 28.13%로 증가하였고 7호선 고속터미널역 구간과 1호선 노량진역 구간, 3호선 고속터미널역 구간에서도 통합도 값이 증가하였다.

표 6. 9호선 개통에 따른 환승역 통합도 변화

환승역	개통 전	개통 후	증가율
김포공항역 (5호선)	1.056	2.2986	117.66%
여의도역 (5호선)	1.3791	2.3538	70.66%
동작역 (4호선)	2.2384	2.9271	30.76%
당산역 (2호선)	1.7741	2.2732	28.13%
고속터미널역 (7호선)	1.8333	2.2384	22.09%
노량진역 (1호선)	2.2732	2.661	17.06%
고속터미널역 (3호선)	2.3123	2.661	15.07%

9호선 개통 전후로 특정 환승역 주변 구간에서 통제도와 통합도 값이 증가하였고 이는 9호선 개통으로 인해 기존 노선과의 환승으로 주변 교통 연계성이 증가하였음을 알 수 있다.

4. 대중교통 이용 수요 변화와 비교 검증

본 장에서는 3장에서 주변 대중교통의 영향성과 지하철 이용자들의 이동 패턴 예측을 위해 측정된 파라미터의 변화율을 비교 검증하고자 하였다. 이를 위해 서울시 교통 카드시스템⁵⁾의 실제 역간 지하철 승차 인원수와 버스 노선별 승차 인원수 자료를 이용하여, 정량화된 도시철도망 변화에 따른 특성치와 승객이용수요(도시철도 환승역, 경쟁수단인 버스) 관계 분석을 통해 실제적인 9호선과 주변 버스 노선의 이용자들의 통행 패턴을 살펴보았다.

4.1 지하철 승객 수요 변화 분석

9호선의 경우 개통 이후 역간 승차인원 변화를 살펴보았다. 9호선이 처음 개통된 2009년 7월 9호선 역간 승차인원을 보면 신논현역에서 노량진역까지 13,933명으로 가장 많았고 다음으로는 여의도역에서

5) 수도권 고객 일평균 2,400백만 건에 이르는 승하차 자료를 버스 및 지하철 집계시스템의 통해 버스노선번호, 승하차 정류장 및 역사 위치, 승하차일시, 환승일시, 사용자, 총 이용 거리, 요금 등 노선 관리와 대중교통 노선 체계의 개선 등 대중교통 정책을 수립 하는데 필요한 기초 정보를 제공해 준다.

신논현역으로 10,343명, 노량진역에서 신논현역까지 10,242명 순으로 승차인원이 많았다.

표 7. 지하철 이용 승객 비교(2009.07)

출발역	도착역	승차인원(명)
신논현	노량진(9호선)	13,933
여의도(9호선)	신논현	10,343
노량진(9호선)	신논현	10,242
신논현	염창	7,020
가양	신논현	6,974
신논현	여의도(9호선)	6,953

2009년 8월에도 신논현역에서 노량진역까지가 승차인원 54,939명으로 가장 많았고 노량진역에서 신논현역까지 43,466명, 여의도역에서 신논현역까지 34,497명으로 승차인원수가 많았다.

표 8. 지하철 이용 승객 비교 (2009.08)

출발역	도착역	승차인원 (명)
신논현	노량진(9호선)	54,939
노량진(9호선)	신논현	43,466
여의도(9호선)	신논현	34,497
신논현	여의도(9호선)	27,428
신논현	염창	26,477
염창	신논현	26,227

이는 2009년 9월, 10월에도 비슷한 결과를 보였으며 최근인 2011년 3월에도 신논현역에서 노량진역까지 승차인원이 100,522명으로 가장 많았고 노량진역에서 신논현역 구간이 83,641명, 여의도역에서 신논현역 구간이 48,721명으로 승차인원수가 많았다.

표 9. 지하철 이용 승객 비교 (2011.03)

출발역	도착역	승차인원 (명)
신논현	노량진(9호선)	100,522
노량진(9호선)	신논현	83,641
여의도(9호선)	신논현	48,721
신논현	여의도(9호선)	45,061
가양	노량진(9호선)	43,867
노량진(9호선)	국회의사당	43,446

9호선 승차인원수를 분석했을 때 주로 환승역구간에서 승차인원이 많았으며 신논현역에서 노량진역, 여의도역 등의 구간에서 승차인원이 증가한 것을 통

해 강남지역에서 서부지역 간의 연결성이 높아졌음을 알 수 있다.

4.2 버스 승객 수요 변화 분석

9호선 개통 이후에 그 주변 지역의 버스 노선별 이용객 수 변화를 살펴보았다. 9호선과 기점과 종점이 동일한 노선 중 최단거리인 노선을 기준으로 선정하였으며, 노선의 이용객 수가 변화함을 볼 수 있었다. 9호선과 비슷한 운행 구간을 가진 버스는 360번, 362번, 462번, 642번, 6631번, 6632번 등이 있으며 이 중에서 9호선 노선과 가장 비슷한 운행 구간을 가진 360번, 642번, 6631번, 6632번에서 이용객 수가 감소함을 볼 수 있었다. 360번 버스의 경우 9호선 개통 전에는 일별 이용객 수가 26,000여명이었으나 9호선이 개통된 7월 24일 이후로 이용객 수가 24,000여명으로 평균적으로 2,000여명의 이용객 수가 감소하였다. 642번 버스의 경우 9호선 개통 전에는 일별 이용객 수가 12,000여명이었으나 9호선 개통 후 8,000여명으로 감소하였고 6631번 버스의 경우 9호선 개통 전 14,000여명에서 9호선 개통 후 12,000여명으로 이용객이 감소하였다. 6632번 버스의 경우 9

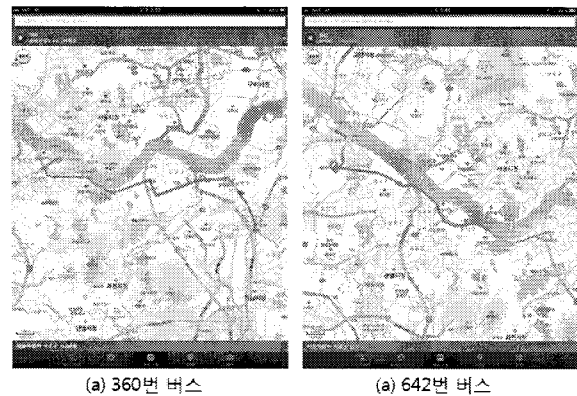


그림 10. 9호선 주요 경쟁 노선

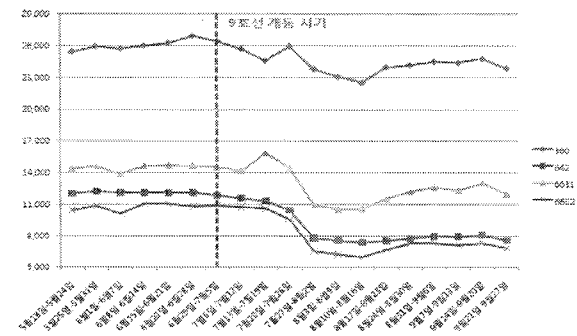


그림 11. 9호선 경쟁노선의 승객 수요 분석

호선 개통 전 일별 이용자 수가 10,000여명 이었으나 9호선 개통 후 6,000여명으로 크게 감소하였다. 9호선 노선과 비슷한 운행 구간을 가진 버스 노선의 이용자 수가 줄어든 것으로 보아 버스 이용자가 9호선으로 수단 전환을 한 것으로 나타났다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 기존 지하철 노선에서 새로운 지하철 노선의 추가에 따른 사전 사후 연결성, 이동성 등의 변화를 공간구문모델을 도입하여 교통 연계성과 대중교통 이용자의 수요 변화를 분석하고자 하였다. 그 결과 9호선 개통에 따라 지하철 노선별 통제도와 통합도가 증가하였고 특히 9호선과 환승역이 있는 구간에서 통제도, 통합도가 증가함에 따라 환승역 주변 노선의 교통 연계성이 증가함을 볼 수 있었다. 또한 9호선 이용객들의 통행 패턴을 분석하여 서부지역과 강남 지역의 연결성이 높아졌음을 확인할 수 있었고 9호선 노선과 비슷한 운행 구간을 가진 버스 이용자 수 변화를 통해 지하철과 버스 간의 이용자들의 수단변화가 있었음을 확인하였다. 이를 통해 지하철 노선 계획에 있어 GIS와 공간구문모델을 이용한 정량적 분석 방법의 적용 가능성을 확인해보았다.

향후에는 본 연구를 바탕으로 다양한 노선에 대한 대중교통 이용자들의 환승 통행 패턴을 정밀 분석하고 대중교통 수단 변화율과 공간구조 변화와의 연계성에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한 지하철 노선 변화에 따른 역세권의 공간구조 분석에 대한 연구가 필요할 것이다. 따라서 향후 공간구문모델을 통한 접근성 측면에서 토지이용변화 예측모델 방법론과 연계 형성한다면 공간계획이 더 실제적이며 효과적일 것이라 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] O. Cadwallader, M, 1985, Analytical Urban Geography: Spatial Patterns and Theories, Prentice-Hall Inc., New York.
- [2] A. Chiaradia, B. Hillier, Y. Barnes and C. Schwander, 2009. "Residential property Value Patterns in London", Ref015.
- [3] B. Hillier, 2007, Space is the machine, University of Cambridge Press, Cambridge.
- [4] E. Koseoglu and D. E. Onder, 2009, "Defining Salient Elements of Environment and Memory Subjective and Objective Landmarks in Ayvalik, Turkey", Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium.
- [5] H. K. Kim and D. W. Sohn, 2002, "An analysis of the relationship between land use density of office buildings and urban street configuration," Cities, vol. 19, no. 6, pp. 409-418.
- [6] Z. Xinqi, Z. Lu, F. Meichen and W. Shuqing, 2008, "Extension and Application of Space Syntax A Case Study of Urban Traffic Network Optimizing in Beijing", Power Electronics and Intelligent Transportation System, pp. 291-295.
- [7] H. Yu, J. Tosu and J. Long, 2009. Space syntax analysis of Foshan street network transformation in support historic area redevelopment, Yildiz Technical University.
- [8] 김영욱, 2003, "Space Syntax를 활용한 공간구조 속성과 공간사용패턴의 상호 관련성 연구," 국토계획, 제38권, 제4호, pp. 7-17.
- [9] 신행우, 2007, "토지이용에 따른 보행특성에 관한 연구-Space Syntax를 활용한 보행네트워크 분석과 보행량의 상호관련성을 중심으로", 한국도시계획학회지 제8권, 제3호, pp. 83-94.
- [10] 연경환, 황희연, 2008, "공간구문론을 이용한 청주시 가로망 형태 분석," 국토계획, 제43권, 제1호, pp. 27-42.
- [11] 오충원, 2004, "GIS와 공간구문론(Space Syntax)을 이용한 도시공간구조 분석," 지리학연구, 제38권, 제4호, pp. 573-583.
- [12] 이병욱, 이승재, 2005, "Space Syntax를 이용한 서울시 버스개편의 접근성 효과분석", 대한교통학회지, 제23권, 제8호, pp. 163-170.
- [13] 전철민, 2006, "GIS 기반 Space Syntax를 이용한 대중교통 접근성", 한국공간정보시스템학회 논문지, 제8권, 제3호, pp. 25-33.
- [14] 주용진, 이수일, 하은지, 전철민, 2010, "그린스코어 : 지속가능 친보행 환경을 위한 측정 모형 개발", 한국공간정보학회 추계학술대회 논문집.
- [15] 주용진, 2011, "토지이용-교통 통합적 분석을 통한 도로 기반 도시 형태학적 변화에 관한 연구", 한국공간정보학회지 제19권, 제3호, pp. 63-72.

- [16] 채훈, 김태호, 최유란, 2009, “청계천복원사업에 따른 보행자네트워크의 변화와 건축물 용도의 변화관계연구”, 서울시연구, 제10권, 제1호 pp. 169-182.
- [17] 한기봉, 강인준, 김나영, 최현, 위성영상을 활용한 지하철건설 전후의 공간환경변화에 관한 연구, 한국GIS학회 2007 공동춘계학술대회 논문집
- [18] 황희연, 윤두원, 2007, “공간구문론에 의한 청주 원흥이 생태공원 가로망 배치의 적합성 분석”, 대한국토·도시계획학회, 국토계획, 제42권, 제5호, pp. 177-196.



주 용 진

2001년 인하대학교 지리정보공학과 졸업(공학사)

2003년 인하대학교 지리정보공학과 대학원 졸업(공학석사)

2004년 한국교통연구원 국가교통DB센터 연구원

2009년 인하대학교 지리정보공학과 대학원 졸업(공학박사)

2009년~현재 서울시립대학교 도시과학연구원 융합도시연구센터 연구교수

관심분야는 위치기반서비스, 공간DB, 공간추론 및 온톨로지, 도시-교통 통합모형

논문접수 : 2011.07.13

수 정 일 : 2011.08.24

심사완료 : 2011.08.29