

직장접근도비를 통한 수도권 지하철 역세권의 통근이용 잠재성 분석

이 승 일* · 이 창 효**

Analysis of Potential of Commuter Subway Trip Based on Job Accessibility Ratio in Catchment Areas of the Seoul Metropolitan Subway

Seungil Lee* · Changhyo Yi**

요약 : 본 논문의 목적은 수도권 지하철 역세권에서 토지이용체계의 개편을 통하여 지하철 이용률의 제고를 도모하고자 역세권의 세부 공간단위(셀)에 대한 직장접근도비와 지하철이용지표를 계산하여 분석하는데 있다. 여기서 직장접근도비는 지하철 역세권의 통근목적을 위한 이용 잠재성을 의미하고, 지하철이용지표는 통근목적 지하철 이용자 수와의 상관성을 나타낸다. 본 연구에서는 이 지표를 계산하기 위하여 지하철 네트워크와 토지이용분포자료를 바탕으로 래스터 GIS기반의 접근도계산모델을 이용하였다. 이 계산결과를 근거로 수도권 지하철 역세권에 대하여 세 가지의 분석결과를 제시하였다. 첫째, 직장접근도비와 지하철이용지표의 분포가 도심부와 도심주변부에서 심한 차이를 보이는데 이는 도심과 부도심 역세권의 고용인구가 지하철 이용 잠재성과 관계없이 분포하고 있음을 의미한다. 둘째, 역세권별로 지하철이용지표와 실제 지하철 통근이용자 수를 비교한 결과 도심부와 도심주변부의 일부 부도심에 있는 역세권의 지하철 이용효율성이 낮은 것으로 평가되었다. 셋째, 지하철 역세권 셀별로 직장접근도비의 인구가중평균과 셀 간의 GINI 계수를 도출하여 비교한 결과 도심부가 상대적으로 높은 평균 직장접근도비를 보이고 낮은 GINI 계수를 나타내는데 이는 이 지역의 지하철 이용 잠재성이 매우 높고 고르다는 것을 의미한다. 이상의 분석결과를 종합하면 향후 수도권 지하철의 이용률을 제고시키기 위해서 수도권 도심부와 도심주변부의 지하철 역세권에서 거주인구의 증가를 위한 토지이용정책이 필요하다고 할 수 있다.

주제어 : 직장접근도비, 역세권, 접근도계산모델, 수도권 지하철

ABSTRACT : The purpose of this research is to calculate and investigate job accessibility ratio and commuters' subway use index in the catchment areas of the Seoul Metropolitan Subway in order to enhance its use through land-use reorganization policy to the areas. In this research job accessibility ratio indicates subway use potential for commutation and commuters' subway use index is related with real commuting subway users. The two indexes were calculated by the accessibility measurement model developed using raster GIS combined with networks coded as

* 서울시립대 도시공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Urban Engineering, The University of Seoul), 논문주작성자임.

** 서울시립대 도시공학과 석사과정(Master's Course Student, Department of Urban Engineering, The University of Seoul)

vectors. The research drew three important results after applying the indexes for the Seoul Metropolitan Area. First, there exist remarkable differences between job accessibility ratio and subway use index in the catchment areas located in the city center and inner suburb. This means that the residents in those areas are distributed regardless their subway use potential. Second, the catchment areas in the city center and inner suburb show low efficiency in using subway for commutation according to the comparison between subway use index and real commuting subway users. Third, the catchment areas in the city center which show relatively high weighted average and low GINI coefficient of job accessibility ratio own evenly high subway use potential for commutation. From the results it can be concluded that a land-use policy increasing the number of resident in the catchment areas of the city center and inner suburb is necessary to effectively enhance the subway using rate for commutation.

Key Words : job accessibility ratio, catchment area, accessibility measurement model, Seoul Metropolitan Subway

I. 서론

교통혼잡, 에너지소비, 대기오염, 소음, CO₂ 방출, 교통사고 등 자동차 의존적 교통체계는 많은 도시문제를 야기시킨다는 인식이 보편화됨에 따라 최근 도시문제가 심각한 대도시를 중심으로 활발하게 대중교통을 기반으로 하는 교통체계로의 전환을 모색하고 있다. 이를 위하여 대량수송능력과 정시성으로 인해 대중교통체계의 중추적인 역할을 하는 지하철의 이용률을 제고하는 것은 무엇보다도 중요하다. 그러나 노선의 증설 및 신설 등 지금까지 추진 하였던 교통정책수단은 많은 비용을 수반하므로 그 효과가 크지 않을 경우 심각한 운영적자를 초래할 수 있다. 이와는 달리 대중교통중심의 토지이용정책수단은 역세권 토지이용체계의 개편을 도모하여 잠재적 이용자를 최대한 확보하는 방안으로 교통정책수단보다 훨씬 적은 비용으로 지하철의 이용률을 제고시킬 수

있다(Krygsman et al., 2004).

대중교통중심의 토지이용체계개편과 관련하여 지금까지 수행된 연구는 주로 도보거리를 기준으로 설정한 일부 지하철 역세권에 대하여 토지이용패턴분석(이희연, 1997; 임희치, 2004), 지가변화분석(한봉림, 1991; 이희연, 1997), 지하철 이용행태변화분석(김동찬·임동민, 1999; 이재영·송태수, 2004) 등을 들 수 있다. 그러나 역세권의 토지이용체계의 개편을 통하여 효과적으로 지하철의 이용률을 제고시키기 위해서는 무엇보다도 지하철 역세권별로 해당 지하철 이용권에서 도시 활동의 수준을 고려하여 적절한 토지이용의 규모를 판단할 수 있는 지표가 필요하다. 이에 따라 이승일(2004)은 지하철노선과 운행시간표를 기반으로 여러 통행노선 중에서 최단노선의 검색이 가능하고, 지하철을 이용할 때 출발지와 도착지에서 소요되는 진입(access) 및 진출(egress)시간을 고려하기 위하여 래스터 GIS

를 기반으로 하는 접근도계산모델을 개발하여 직장접근도를 계산하였다. 본 연구에서는 이 모델을 이용하여 수도권 지하철의 모든 역세권을 대상으로 직장접근도비와 지하철이용지표를 계산하고자 한다. 여기서 직장접근도비는 지하철 역세권의 통근목적을 위한 이용 잠재성을 의미하고, 지하철이용지표는 통근목적 지하철 이용자 수와의 상관성을 나타낸다. 본 연구의 목적은 이 지표를 계산하여 수도권 지하철의 역별 실제 이용자 자료와 비교함으로써 수도권 지하철 역세권의 이용효율성을 진단하여 지하철 이용률을 제고시키기 위한 역세권의 토지이용체계 개편방향을 제시하는데 있다.

본 논문은 서론을 제외하고 크게 네 부분으로 나누어 구성되었다. 첫째 부분에서는 잠재적 접근도에 대하여 논의하였고, 이를 계산하기 위한 접근도계산모델을 소개하였으며, 지하철이용효율성을 평가할 지표로서 직장접근도비와 지하철이용지표를 설명하였다. 둘째 부분에서는 수도권과 수도권 지하철의 문제점을 분석하였고, 접근도계산모델을 적용하기 위하여 필요한 입력자료의 구축방법과 모델의 정산에 대하여 설명하였다. 셋째 부분에서는 수도권 지하철 역세권에 대한 모델적용의 결과로서 직장접근도비와 지하철이용지표의 분포, 역세권별 지하철이용지표와 실제 지하철 통근 이용자 수의 비교, 지하철 역세권 셀별 직장접근도비의 인구가중평균과 셀 간의 GINI 계수의 분포 등을 제시하였다. 마지막으로 본 연구의 결론 부분에서는 이상의 분석결과를 종합하여 향후 수도권 지하철의 이용률을 제고시키기 위하여 수도권 지하철 역세권에 대한 토

지이용정책 방향을 제안하였으며, 향후 본 연구의 개선방향에 대하여 기술하였다.

II. 이론과 모델

1. 접근도

접근도의 개념은 적용하는 분야에 따라 다양하게 설명될 수 있고 계산 방법도 다양하다(김광식, 1987). 그러나 본 연구에서는 토지이용과 교통의 상호작용(land-use transport interaction)을 모델로 정립하기 위해 도입한 잠재적 접근도(potential accessibility, 이하 접근도)의 개념에 국한하여 살펴본다. Hansen (1959)으로 인해 비롯된 접근도의 개념은 도시 내의 활동과 관련해서 활동의 참여기회를 제공하는 입지특성인 토지이용체계와 그곳까지 도달할 수 있는 여건을 제공하는 공간이동의 특성인 교통체계를 동시에 포함하고 있다. 이를 수식으로 표현하면 도착하게 될 활동 또는 기회를 나타내는 함수(토지이용체계)와 거기에 도달하는데 필요한 노력, 시간, 거리 또는 비용을 나타내는 함수(교통체계)로 구성된다.

$$A_i = \sum_j g(w_j) \cdot f(c_{ij}) \quad (1)$$

여기서 A_i 는 i 에서의 접근도를 의미하고, w_j 는 j 에서 도착할 도시 활동을 나타내고, c_{ij} 는 $i-j$ 간의 일반화된 통행비용을 의미한다. 함수 $g(w_j)$ 와 $f(c_{ij})$ 는 각각 활동함수 및 저항함수로 불리며 서로에게 가중치로 작용한

다. 따라서 접근도 A_i 는 모든 j 에서 도달하는 도시 활동을 $i-j$ 간의 이동의 용이성을 가중치로 삼아 각 j 에 적용한 도시 활동의 누적 합계라고 할 수 있다.

위의 식에서 저항함수는 지하철노선의 신설과 차량의 증가 등 교통정책과 관련이 깊고, 역세권의 토지이용은 활동함수를 통하여 접근도에 영향을 미친다. 따라서 본 논문의 연구대상인 대중교통중심의 개발은 활동함수와 관련이 깊다. 그러나 지하철 역세권별로 도시 활동 수준에 영향을 미치는 주변 역의 공간적 범위 즉 지하철 이용권(SEPSU: Spatial Extent of Potential Subway Use)(이승일, 2004)은 지하철노선 및 운행시간표에 따른 통행시간으로 결정되기 때문에 두 함수는 절대로 분리해서 볼 수 없다. 다만 본 연구에서와 같이 주어진 교통여건에서 지하철 역세권별로 토지이용의 개편을 통하여 지하철 이용률의 제고를 모색하고자 하는 경우 해당 지하철 이용권에서 활동수준을 기초로 하여 잠재적 지하철 이용가능성을 판단할 수 있다.

개별 지하철 역세권(Catchment area)의 공간적 범위는 일반적으로 도보거리(보편적으로 반경 500m)를 기준으로 설정된다. 이 때 역세권의 통행단(trip end)에서 통행수단은 도보로만 국한되었음을 뜻한다. 그러나 현실적으로는 통행단에서 도보 외에도 자전거, 버스, 승용차 또는 택시 등 다양한 통행수단을 이용할 수 있으며 각 통행수단별로 다양한 역세권의 유형¹⁾

을 나타내고 있다. 본 연구에서는 도보에 의한 지하철 역세권을 고려의 대상으로 삼고 저항함수를 결정하는 통행비용은 통행시간으로 대신하고자 한다. 이때 통행시간은 지하철 네트워크 통행시간과 지하철역의 진입(access)과 진출(egress)시간의 합으로 결정된다. 여기서 지하철 네트워크 통행시간은 대기시간(waiting time), 주행시간(in-vehicle time), 환승시간(transfer time)으로 구성되고, 진입과 진출시간은 통행단에서 도보를 이용한 통행시간을 의미한다.

2. 접근도계산모델

본 연구를 위해 개발된 접근도계산모델(이승일, 2004)은 종사자의 수를 활동함수로 지하철 통행시간을 저항함수로 삼고 있다. 접근도계산모델에서 활동함수 W_j 는 1차함수로서 도착지의 종사자 수로 표현되는 도착지의 활동규모를 나타낸다. 반면에 저항함수는 음의 지수함수로서 매개변수 β 는 가중치의 역할을 하여 가까운 도착지의 종사자 수의 비중을 먼 도착지의 것보다 더 높이는 역할을 한다. t_{ij} 는 출발지 i 와 도착지 j 사이의 통행시간을 나타낸다.

$$A_i = \sum_j W_j \exp(-\beta t_{ij}) \quad (2)$$

위의 식을 바탕으로 접근도계산모델은 프로

1) 지하철의 통행단에서 다양한 교통수단의 조합과 그에 따른 가변적 역세권을 고려할 경우 잠재적 지하철 이용자가 분포된 공간적 범위는 더 넓어질 수 있다. 다만 통행단에서 수단선택을 예측할 수 있는 방법론이 필요하다. 이는 본 연구의 후속 연구 과제 중의 하나에 속한다.

그럼개발의 편리성을 이유로 활동함수를 기초로 한 토지이용체계 모듈과 저항함수를 기초로 하는 교통체계의 모듈로 구성하였다. 토지이용체계의 모듈은 최소 센서스공간단위(이하 동)로 집계된 인구와 종사자 수를 래스터 셀(이하 셀)에 배분하는 기능을 포함하고 있다(이승일, 2004). 래스터 GIS 테크닉에 기반을 둔 이 기능을 이용하여 우선 건물단위로 인구와 종사자를 배분하고(식(3) 참조), 건물별 인구 또는 종사자를 해당하는 셀로 집계한다.

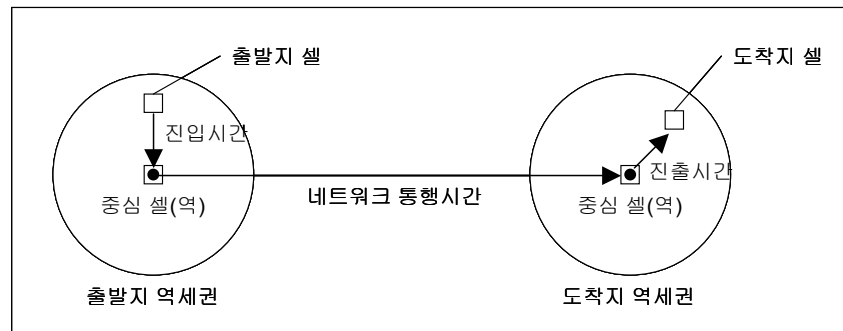
$$P_i = P_k \frac{BGA_i \omega_i}{\sum_{i \in k} BGA_i \omega_i} \quad (3)$$

여기서 P_k 와 P_i 는 각각 동 k 의 인구 또는 종사자, 그에 속한 건물 i 의 인구 또는 종사자를 의미한다. 건물별 인구와 종사자는 해당 건물의 평면적 BGA_i 와 토지이용계획에 의한 허용용적률을 가중치 ω_i 로 삼아 계산하였

다.²⁾

교통체계의 모듈은 모든 출발지와 도착지의 경우에 대하여 최단 지하철 통행시간을 계산한다. 이 모듈은 벡터형태로 입력된 지하철 노선망과 운행시간표를 기반으로 최단 네트워크 통행시간을 계산한다. 이와 함께 지하철을 이용할 때 출발지와 도착지에서 소요되는 진입(access) 및 진출(egress)시간을 고려하기 위하여 래스터형태의 데이터를 병행하여 사용한다. 즉 출발지 역에서 도착지 역까지의 최단 통행시간은 네트워크 통행시간을 기반으로 계산하고, 출발지 셀에서 해당 역의 셀까지 진입 시간과 도착역 셀에서 도착지 셀까지의 진출 시간은 셀의 개수로 계산한다(<그림 1> 참조). 최단 지하철 통행시간은 네트워크 통행시간과 진입 및 진출시간의 합으로 계산된다.

본 연구에서는 최단 지하철 네트워크 통행시간을 계산하기 위하여 Moore의 알고리즘을 이용하였다(Wegener, 1974; Wegener, 1983).



〈그림 1〉 지하철 통행시간의 계산방법

2) 현실적으로 토지이용계획의 허용용적률과 실제 건물의 연면적이 일치하지 않는 경우가 많기 때문에 본 연구에서 취한 방법은 근본적으로 많은 오류를 야기시킬 수 있다. 아직까지 건물별 이용용도와 연상면적에 관한 보편적인 지리정보의 부재로 인하여 대안을 찾을 수 없는 상황에서 이 방법의 적용은 불가피하지만 동단위의 통계에 기반으로 하고 있으므로 오류는 동 이상을 벗어나지는 않고 있다. 그러나 향후 후속 연구에서는 새주소정보체계(정은주, 2004)의 건물평면적, 건물층수, 건물용도 등의 지리정보를 이용하여 보다 정확한 인구 및 종사자를 배분할 예정이다.

교통체계의 모듈은 출발지 역과 도착지 역 사이의 모든 대안 노선들을 도출하여 비교한 후에 최단시간의 노선을 택하여 결정한다. 교통체계의 모듈은 출발지 셀 i 와 도착지 셀 j 사이의 각 대안노선의 총 통행시간 t 를 진입시간 t^{access} 와 진출시간 t^{egress} 를 포함하여 출발지에서 지하철을 기다리는 대기시간 $t^{boarding}$ 과 환승할 때마다 소요되는 환승시간 $t^{transfer}$ (보행시간+대기시간)와 각 노선에서의 주행시간 $t^{in-vehicle}$ 의 합으로 계산한다. 다음 식에서 h 는 환승횟수를 의미한다.

$$t_{ij} = t_i^{access} + t_{ij}^{boarding} + \sum_{h=1}^n t_{ijh}^{transfer} + \sum_{h=1}^{n+1} t_{ijh}^{in-vehicle} + t_j^{egress} \quad (4)$$

토지이용체계와 교통체계의 모듈로 구성된 접근도계산모델은 적용대상 지역의 지하철에 대해 모든 역의 역세권 셀의 인구와 종사자 수를 계산하고, 출발지 셀과 도착지 셀 간의 최단통행시간을 계산하여 개별 출발지 셀의 직장접근도를 계산한다.

3. 직장접근도비와 지하철 이용

본 연구에서 언급한 직장접근도는 지하철 이용권에 존재하는 잠재적 지하철 이용가능 종사자의 수를 의미하는 절대 값으로서 적용

대상 지역의 지하철 네트워크의 규모와 역세권의 총 종사자의 규모에 비례하여 크기가 커지므로 비교의 능력이 약하다. 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 셀별 직장접근도 A_i 를 적용대상 지역의 지하철 역세권에 위치한 모든 셀 k 의 종사자 E_j 의 합에 대한 상대 값으로 변환시키고 이를 직장접근도비(JAR: Job Accessibility Ratio)로 명명하였다.

$$JAR_i = \frac{A_i}{\sum_{i \in k} E_i} \quad (5)$$

여기서 직장접근도비는 항상 0과 1사이의 값을 가지게 되고, 지하철 네트워크와 역세권의 종사자 규모가 큰 적용대상 지역일수록 0에 가까운 값을 가지게 된다.³⁾

동일한 적용대상 지역에서 직장접근도비가 큰 셀은 다른 셀에 비해 지하철을 이용하여 도달 가능한 직장이 많다는 것을 의미하는데 이때, 해당 셀에 거주하는 고용가능 인구가 많을수록 지하철 이용자의 수는 커지게 된다. 이와 같은 이유로 다음 식과 같이 직장접근도비에 해당 셀의 고용가능 인구 P^w 를 곱하여 통근 지하철이용지표 JAR_P_i 를 구한다.

$$JAR_P_i = JAR_i \cdot P_i^w \quad (6)$$

본 연구에서는 수도권 지하철의 이용률을

3) 지하철 네트워크와 역세권의 종사자 규모가 커질 경우 통행시간에 제약을 받는 직장접근도가 커지는 것보다 종사자의 합이 월등히 큰 쪽으로 증가하게 되므로 개별 셀의 직장접근도비는 작아진다.

제고시킬 수 있는 역세권의 토지이용체계 개편을 모색하기 위한 방안으로 직장접근도비를 이용하여 역세권의 셀별로 지하철 이용 잠재성을 조사하고, 통근지하철이용지표를 실제 지하철 이용자의 수와 비교하여 상관관계를 분석함으로써 지하철 역세권별로 지하철 이용효율성을 평가하도록 한다.

Ⅲ. 모델의 적용

1. 수도권과 수도권 지하철

서울을 중심도시로 삼는 수도권에는 1997년 이래로 548,136명의 순 인구유입이 발생하였고, 2002년 기준으로 전국 총인구의 46.9%의 인구가 거주하고 있다. 이 추세는 전국의 다른 어느 도시와도 비교할 수 없는 서울의 양호한 주거, 직장, 교육 여건으로 말미암아 꾸준히 진행될 것으로 예견된다. 그러나 수도권의 인구는 지속적으로 증가하고 있음에도 불구하고 서울의 인구는 1990년 이후로 계속 감소하고 있는데 이는 많은 사람들이 서울에서보다 양호한 주거환경과 저렴한 가격의 주택을 찾아 주변지역의 신도시나 택지개발지구로 이주했기 때문으로 보인다.

수도권에서는 거주의 교외화와 함께 고용의 교외화(김선희 외, 2003)도 진행되고 있다. 90년대에 들어서 서울의 종사자 수는 감소하는 대신 주변지역의 종사자 수는 증가하고 있다. 이는 거주 교외화의 원인에서와 같이 사업체들도 생산활동에 필요한 값싼 토지와 건물을 주변지역에서 찾기 때문이다. 특히, 서비스 산

업분야의 사업체의 교외화가 두드러진데 이들 사업체가 구매층을 쫓아 주변지역의 신도시나 택지개발지구로 이주했기 때문이라고 볼 수 있다(Lee, 2003). 그럼에도 불구하고 상당부분의 직장이 여전히 서울의 도심부나 도심주변부에 집중되어 있기 때문에 이 지역들을 연결하는 간선도로에는 많은 통행량이 발생한다(<표 1> 참조).

<표 1> 수도권의 통근통행량 변화

	1980	1990 (’90~’80)	2000 (2000~’90)
서울 내부	1,884,518	3,138,785 (66.6)	3,314,508 (5.6)
	65.2%	55.3%	41.6%
서울에서 주변지역	112,586	253,525 (125.2%)	390,399 (54.0)
	3.9%	4.5%	4.9%
주변지역에서 서울	170,674	570,736 (15.1%)	914,038 (9.9)
	5.9%	10.0%	11.4%
주변지역 내부	720,765	1,716,843 (138.2)	3,356,112 (95.5)
	25.0%	30.2%	42.1%

출처 : 1980, 1990, 2000 인구 및 주택에 관한 총조사, 통계청

수도권 지하철은 서울을 중심으로 하는 단핵의 수도권 공간구조에 부합하여 서울의 도심으로부터 주변지역까지 약 35km 범위 내에 6개의 축(의정부, 분당, 수원, 안산, 인천, 일산)을 형성하며 건설되었다(<그림 2> 참조). 2000년 현재 수도권 지하철은 총연장 475.8km에 달하는데 이중 약 70%가량이 중심도시 내에 위치하고 있다. 수도권 지하철의 총연장은 단기간에 급진적으로 증가하였지만 대부분이

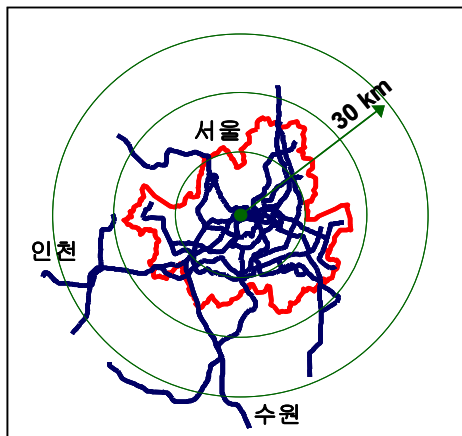
서울에서 이루어졌다(<표 2> 참조).

<표 2> 수도권 지하철 총연장의 변화

(단위 : km, %)

구 분	1985	1990 ('90~'85)	1995 ('95~'90)	2000 (2000~'95)
서울시	54.7	58.8 (7.7)	125.7 (113.8)	338.0 (168.9)
주변지역	43.7	68.6 (60.0)	87.1 (27.0)	137.8 (58.2)

출처 : 건설교통부, 서울지하철공사, 철도청 통계자료



<그림 2> 수도권 지하철(2000년 기준)

수도권 지하철은 버스와 함께 아시아 국가의 다른 도시들에 비하여 이용효율성이 높은 편이지만(Mugavin, 2003) 자동차와 비교할 때 여전히 낮은 점유율을 보이고 있다. 2002년 현재 서울시 지하철은 35%⁴⁾로써 서울의 교통수단 중 가장 높은 수송분담율을 보이고 있지만, 수도권에서 볼 때 승용차의 수송분담율은 32.9%인데 비하여 수도권 지하철의 수송분담율은

23.6%로 여전히 낮고 증가추세도 미미하다. 특히, 지난 6년 동안 자동차의 점유율은 지속적인 증가세를 보이고 있지만 지하철은 버스의 감소를 고려할 때 매우 미미한 증가율을 보이고 있다.

지금까지 살펴본 바에 따르면 수도권 지하철 이용의 증가율이 부진한 이유를 다음의 세 가지 관점에서 찾을 수 있다.

첫째, 지하철의 연장이 서울에서 이주한 사람들이 사는 주변지역까지 충분히 미치지 못하고 있다는 점이다. 거주지의 교외화가 지하철의 연장보다 공간적으로 훨씬 광범위하게 진행되고 있기 때문이다. 따라서 지하철의 이용권에 속하지 못한 주변지역의 새로운 거주민은 서울의 도심부로 출퇴근하기 위하여 승용차를 통행수단으로 선택할 수밖에 없다.

둘째, 승용차보유율이 소득의 증가와 함께 꾸준히 증가하고 있다는 점이다. 빠른 속도로 증가하는 승용차의 보급으로 인하여 서울과 주변지역에서 발생하는 모든 목적통행에 대하여 승용차를 이용하는 비율이 높아지고 있다. 지금까지 주변지역에 신도시나 택지개발지구를 건설할 경우 자동차도로 위주로 교통기반시설을 구축하고 있는데 이는 승용차보유율의 증가와 더불어 승용차 이용률을 상승시키는 주요한 원인으로 작용하고 있다.

셋째, 거주 및 고용의 교외화가 진행됨에 따라 수도권 공간구조가 지하철 이용의 잠재력이 높은 역세권과 그렇지 않은 역세권에 대하

4) 서울시 가구통행 실태조사 2002년 (서울의 수송분담률은 승용차 25%, 버스 27.6%, 지하철 35%, 택시 7.3%, 기타 5.1%이며, 수도권의 수송분담률은 승용차 32.9%, 버스 29%, 지하철 23.6%, 택시 8.4%, 기타 6.1%)

여 적합하지 않게 변화하고 있다는 점이다. 본 연구에서는 이를 지하철 이용률이 증가하지 못하는 근본적인 원인으로 보고 수도권의 지하철을 대상으로 직장접근도비와 지하철이용지표를 계산하여 현재 지하철 이용현황과 비교하여 분석하고자 한다.

2. 모델적용을 위한 입력자료

접근도계산모델을 이용하여 수도권 지하철의 직장접근도비를 계산하기 위해서는 토지이용체계와 교통체계의 모듈이 요구하는 입력자료를 구축하여야 한다.

토지이용체계 모듈의 입력자료에는 인구, 종사자, 건물, 지형도, 도시계획도, 도로망도, 통계구역도 등이 해당된다. 본 연구에서는 이 입력자료를 서로 비교가능한 동일한 공간단위로 통일하기 위하여 수도권을 약 79만개의 셀로 세분화하였다. 여기서 각 셀의 크기는 75m x 75m이며 이를 통해 반경 600m의 지하철 역세권을 8개 구역으로 구분할 수 있다.⁵⁾ 토지이용체계 모듈은 동 단위로 집계된 인구와 종사자 자료를 셀에 배분하는 역할을 수행한다. 2000년 기준으로 수도권에는 총 1,129개의 동으로 구성되어 있는데 이중에서 661개의 동이 지하철 역세권에 전부 또는 일부 속해 있다. 이들동에 위치한 건물은 약 1.25백만동에 달하는

데 각 건물의 평면적과 도시계획도의 토지이용용도에 기초한 가중치로서 동별 인구와 종사자를 건물별 인구와 종사자로 배분하고 이를 다시 해당 셀 단위로 재집계하였다(식(3)참조). 종사자수에 상응하는 고용인구를 산출하기 위하여 본 연구에서는 5세 단위의 연령별 인구자료를 이용하여 고용 가능한 20세에서 60세까지의 인구를 도출하였다.

지하철의 노선망과 운행시간표는 교통체계 모듈의 핵심적인 입력자료에 속한다. 수도권 지하철은 410개의 노드와 468개의 링크로 구성되어 있다. 지하철 노선자료는 노선망과 운행시간표의 정보를 조합하여 통합된 형태를 이루고 있는데 그 내부에는 링크부분과 노선부분으로 구분된다. 링크부분에는 링크의 길이(km), 평균 주행시간(분), 환승보행시간(분), 출발 노드와 도착 노드 등을 입력하였고, 노선부분에는 총 16개 노선에 대하여 노선별 노드구성, 총 주행시간, 운행간격 등을 입력하였다. 특히 환승보행시간은 76개의 환승 구간에 대하여 현장조사를 바탕으로 0.5분 단위로 13개의 유형으로 구분하여 입력하였다.⁶⁾ 접근도계산모델은 이들 자료를 바탕으로 출발지 셀과 도착지 셀까지의 최단 지하철 통행시간을 계산한다.

5) 셀의 크기는 자유롭게 정할 수 있으나 셀의 크기가 작아질수록 공간적으로 정교한 분석이 가능한 반면에 그에 상응하는 자료수집의 노력과 계산시간이 요구된다. 본 연구에서는 수도권의 방대한 공간규모를 고려하고 역세권에서 진입 및 진출시간대를 8단계로 구분할 수 있도록 셀의 크기를 정하였다. 여기서 8단계의 구분은 별다른 의미를 지니지는 않는다.

6) 최단 노선을 결정할 때 환승의 횟수는 매우 중요한 요인이다. 이는 환승을 위한 보행시간과 대기시간이 환승 때마다 추가되기 때문으로 예를 들면, 도심에서 환승을 위하여 소요되는 시간은 대체적으로 10분 정도인데 이는 약 5개의 역을 주행하는데 걸리는 시간과 동일하다.

3. 모델의 정산

직장접근도의 계산식(식(2) 참조)에서 거리에 따른 도달가능 직장의 감소를 나타내는 매개변수 β 와 역세권의 1개 셀 거리에 대한 보행속도를 정하기 위하여 통근시간대의 실제 지하철 이용자 자료⁷⁾를 바탕으로 정산(validation)을 수행하였다. 이는 지하철이용지표와 지하철 이용자의 상관관계를 통하여 도출되었다.

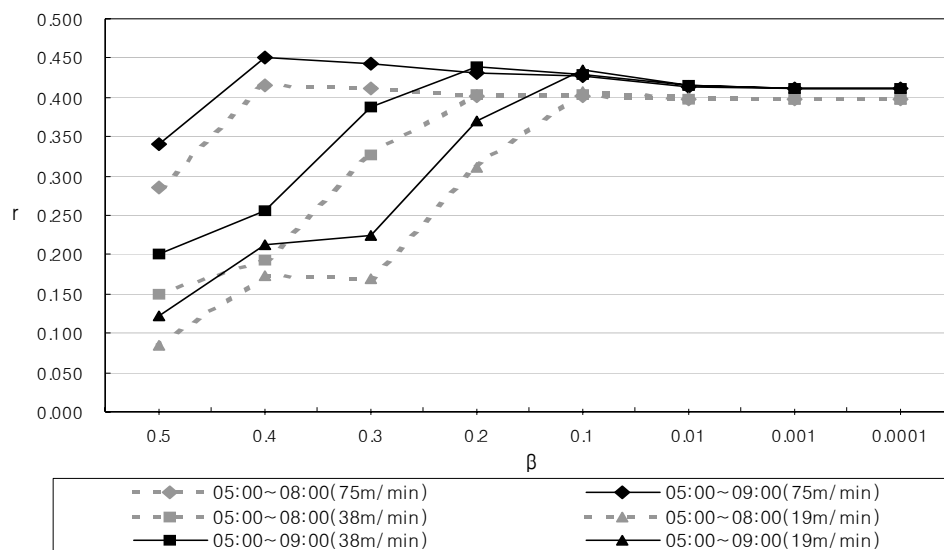
〈그림 3〉에서 보듯이 β 가 0.2, 출근시간대가 05:00에서 09:00, 진출입 보행속도가 38m/분 일 때 안정적인 상태에서 상관계수가 0.435로 가장 높은 수치를 나타낸다. 일반적으로 상관계수의 값이 0.6이하일 경우 상관관계가 약한 것으로 보기 때문에 수도권 지하철의 직장접근도와 이용자는 상관관계가 없는 것으로 판단된다.

그러나 본 연구의 목적이 지하철이용지표와 지하철 이용자의 상관관계를 파악하기 보다는 이를 기초로 하여 역세권별 이용특성과 이용효율성을 진단하고자 함이기 때문에 이상의 정산과정에서 도출한 최적의 β 값으로 직장접근도비와 지하철이용지표를 계산하고, 이를 바탕으로 지하철 역세권 및 역세권 셀에 대한 이용특성과 이용효율성을 분석하도록 한다.

IV. 모델계산결과의 분석

1. 직장접근도비 분포와 지하철이용지표 분포

수도권 지하철의 역세권에 대하여 접근도계산모델을 적용한 결과는 각 역세권의 개별 셀에 대한 직장접근도비와 지하철이용지표로서 제시되지만 그 의미는 수도권 공간구조에서

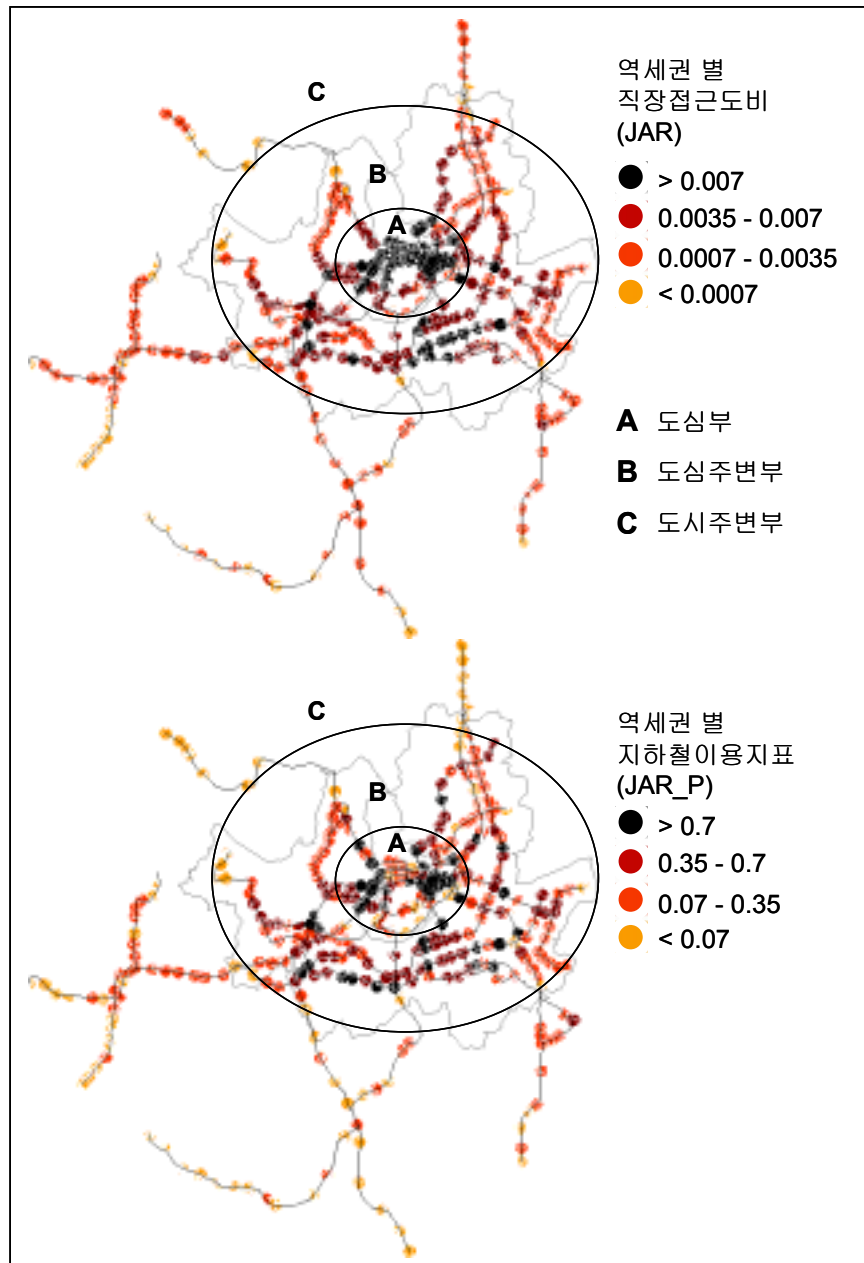


〈그림 3〉 지하철이용지표와 지하철 이용자의 상관관계

7) 2003년 10월 14일(화요일) 현재 수도권 지하철 이용자 현황을 나타낸다. 이 자료는 서울지하철공사, 도시철도공사, 철도청, 인천지하철공사에서 제공받았다.

찾을 수 있다. 수도권 공간구조는 보편적인 구분에 따라 서울의 업무·상업의 중심지로서 중구, 종로구, 용산구를 도심부로, 도심부를 에워싸고 있는 서울의 나머지 지역을 도심주변부로, 서울을 둘러싼 주변지역을 도시주변부로

정의할 수 있다. 도심주변부에 대해서는 한강을 경계로 강북지역과 강남지역으로 세분할 수 있고, 도시주변부는 수도권의 5개 신도시(분당, 일산, 평촌, 산본, 중동)와 그 외의 주변지역으로 더 분류할 수 있다.



〈그림 4〉 수도권 지하철 역세권의 직장접근도비와 지하철이용지표 분포

GIS를 기반으로 하는 접근도계산모델의 가장 큰 장점은 계산결과를 도면으로 제시할 수 있다는 점이다. <그림 4>⁸⁾는 수도권 지하철 역세권에 대한 직장접근도비의 분포(<그림 4> 상단 참조)와 지하철이용지표의 분포(<그림 4> 하단 참조)를 대비적으로 보여주고 있다.

직장접근도비는 도심부와 도심주변부에 있는 일부 부도심(강남과 영등포 지역)의 역세권에서 높게 나타나고 도시주변부에서는 일부 신도시(평촌, 중동, 일산)를 제외하면 대부분의 역세권에서 아주 낮게 나타난다. 반면에 지하철이용지표는 도심부에서도 중심에 위치한 역세권에서 다소 낮게 나타나고 도심주변부의 부도심에서도 낮게 나타나고 있으며 도시주변부에서는 대체적으로 아주 낮게 나타나고 있다. 직장접근도비는 이용잠재력과 관계가 깊고, 지하철이용지표는 이용자 수와 관련성이 높다는 점을 고려하면 이용잠재력이 높은 도심과 부도심에 고용인구가 절대적으로 적은 것이 두 지표간의 차이를 야기시키고 이는 곧 통근목적의 지하철 이용에 있어서 수도권 지하철의 비효율적 이용의 근본적 원인이라고 할 수 있다.

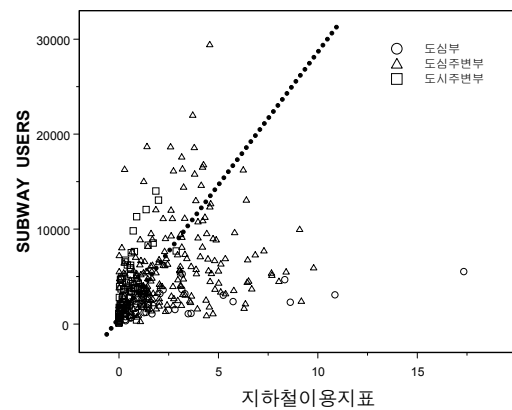
2. 수도권 지하철의 이용효율성 평가

지하철이용지표가 지하철 이용자의 수와 상관관계가 높으므로 이를 수도권 지하철 역세권별 실제 이용자와 비교할 경우 수도권 공간구조에 따른 지하철 역세권의 이용효율성을

평가할 수 있다. <그림 5>는 수도권 전체에 대하여, <그림 6>부터 <그림 9>까지는 공간구조의 구분에 대하여 지하철이용지표와 지하철이용자(Subway Users)의 상관관계를 보여주고 있다.

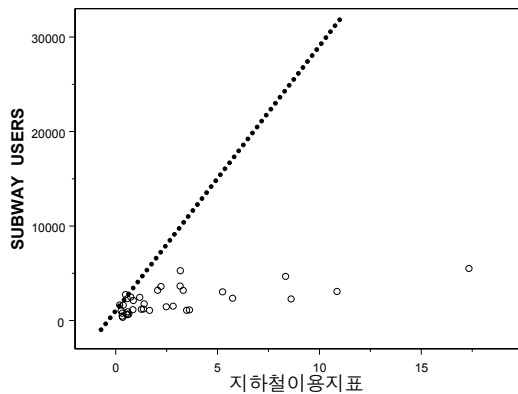
<그림 5>에서 보듯이 점선의 하단부에 위치한 점은 이용효율성이 낮은 역세권을 의미하며 수도권 지하철에서 이용효율성이 낮은 역세권이 더 많음을 알 수 있다. 도심부에서는 대부분 역세권의 이용효율성이 낮고(<그림 6> 참조), 도심주변부에서는 이용 효율성이 낮은 역세권이 다수를 이루고 있으며(<그림 7> 참조), 신도시(<그림 8> 참조)를 포함하여 도시주변부(<그림 9> 참조)의 역세권은 비교적 높은 이용효율성을 보이고 있다.

<표 3>에서는 위의 그림을 통해서 살펴본 상관관계를 개별 지하철 역세권에서 확인하고 있다. 이는 개별 지하철 역세권의 토지이용 개편 정책에 직접적으로 반영시킬 수 있다고 본다.

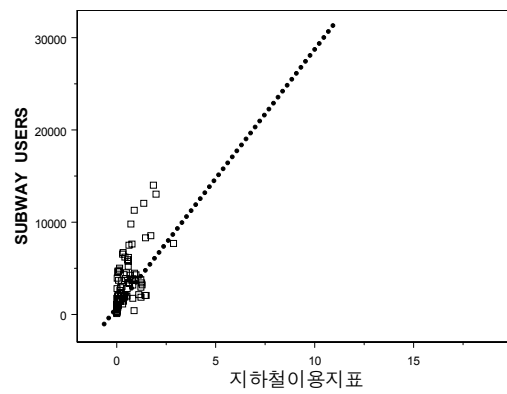


<그림 5> 상관관계 - 수도권

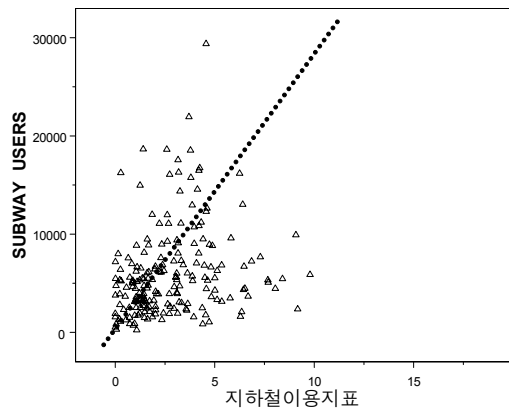
8) 여기서는 개별 셀에 대하여 직장접근도비와 지하철이용지표를 나타내고자 하였으나 표현상의 제약으로 인하여 역세권의 단위로 제시하였다.



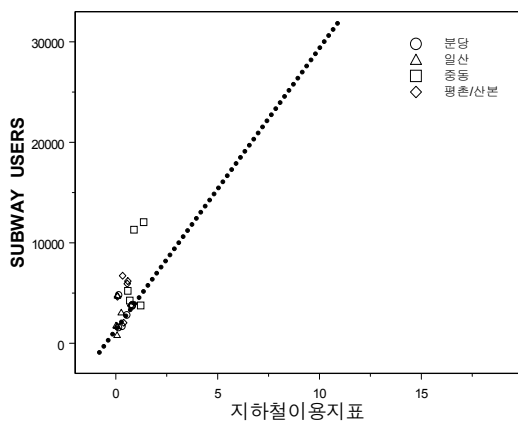
〈그림 6〉 상관계수 - 도심부



〈그림 9〉 상관계수 - 도시주변부



〈그림 7〉 상관계수 - 도심주변부



〈그림 8〉 상관계수 - 신도시

〈표 3〉 수도권 지하철 역세권별 이용효율성 평가

구 분	공간구조에 따른 구분	지역별 구분
지하철 이용지표 대비 이용자 수가 많은 지역	도심	· 동대문 인근지역
	도심주변부 (강북)	· 노원/중랑/강북/광진/은평 · 왕십리/답십리/신촌 인근지역
	도심주변부 (강남)	· 강서/양천/구로/관악/강동 · 신도림/사당/잠실 인근지역
	신도시	· 중동/산본
	도시주변부	· 고양(구시가지)
지하철 이용지표 대비 이용자 수가 적은 지역	도심	· 전지역(동대문 인근지역 제외)
	도심주변부 (강북)	· 마포/성동/성북/도봉
	도심주변부 (강남)	· 강남/서초/송파/동작/영등포/금천 · 구로(도림천 동쪽지역)/길동/명일동 인근지역
	신도시	· 분당/일산/평촌
	도시주변부	· 인천/성남(구시가지)/과천/안산

3. 수도권 지하철 직장접근도비의 거시적 평가

본 연구에서는 지하철의 효율적인 이용의 관점에서 수도권 공간구조를 거시적으로 평가하기 위하여 가중평균과 GINI 계수를 이용하여 셀별 직장접근도비를 도심부, 도심주변부, 도시주변부의 공간구조 유형으로 집계하였다. 가중평균 기법은 역세권 셀별 고용인구 P_i 를

가중치로 삼아 해당 공간구조 유형 k 의 셀별 평균 종사자 접근도 WA_k 를 구한다(식(7) 참조).

$$WA_k = \frac{\frac{\sum_{i \in k} A_i \cdot P_i}{\sum_{i \in k} P_i}}{\frac{\sum_{i \in k} P_i \cdot P_i}{\sum_{i \in k} P_i}} \quad (7)$$

GINI 계수 G_k 는 공간구조 유형 k 에 속한 역세권 셀 i 간의 직장접근도비의 불균등 정도를 나타내는데(식(8) 참조) GINI 계수가 1에 가까울수록 불균등하고, 0에 가까울수록 균등하다.

$$G_k = 1 + \frac{1}{n} - \frac{2}{n^2 \cdot A_k} \sum_{i \in k} i \cdot A_i \quad (8)$$

여기서 $\overline{A_k}$ 는 해당 공간구조 유형의 셀별 평균 직장접근도비를 의미하고, A_i 는 그 유형에 속한 지하철 역세권 셀의 직장접근도비를 의미하며, n 은 공간구조 유형 k 에 속한 역세권 셀의 수를 뜻한다. 거시적 분석결과는 <표 4>에 정리하였다.

<표 4> 수도권 지하철 역세권 셀별 직장접근도비의 공간구조적 분포

	가중평균	GINI 계수
도심부	6.8×10^{-6}	0.25651
도심주변부	7.9×10^{-7}	0.36440
도시주변부	4.7×10^{-7}	0.34588

<표 4>에 따르면 도심부는 상대적으로 높은

평균 직장접근도비를 보이고 낮은 GINI 계수를 보이는데 이는 이 지역의 잠재적 지하철 이용가능성이 매우 높고 역세권별로 고르다는 것을 의미한다. 반면에 도심주변부는 직장접근도비가 낮고 GINI 계수는 상대적으로 높은 편이므로 잠재적 지하철 이용가능성이 부도심별로 차이가 심함을 뜻한다. 도시주변부에서는 직장접근도비가 가장 낮고 GINI 계수는 높은 편인데 이는 이 지역의 잠재적 지하철 이용가능성이 낮고 일부 신도시에 대해 편중되어 있음을 나타낸다. 따라서 향후 지하철 이용률을 제고시키기 위해서는 도심부와 도심주변부의 지하철 역세권에서 고용인구의 증가가 요구되고 특히 도심주변부에서는 직장접근도비가 높은 부도심을 대상으로 고용인구의 제고를 위한 토지이용정책이 요구된다. 도시주변부에서는 역세권에 종사자의 수를 제고시키는 토지이용정책(고용의 교외화)을 통하여 직장접근도비를 높이는 것이 필요하다.

V. 결론

본 연구는 대중교통중심으로 지하철 역세권의 토지이용체계를 개편하는 정책을 추진하고자 할 때 그 효과를 증대시키기 위하여 지하철 이용권에서 지하철 통행시간과 직장의 분포를 바탕으로 직장접근도비와 지하철이용지표를 계산하여 제공함으로써 역세권별 토지이용의 적정규모를 판단하는데 유용한 지표로 삼을 수 있도록 하였다. 이를 통하여 지하철 이용률을 효과적으로 제고시킬 수 있기를 기대한다.

본 연구의 결과에 따르면 수도권 지하철의

이용률을 제고하기 위하여 직장접근도가 높은 역세권은 주거용도를 포함하여 높은 밀도로 토지이용체계를 개편하는 것이 필요하다. 특히, 수도권 공간구조의 특성을 살펴볼 때 도심부, 도심주변부의 부도심, 일부 신도시 등 지하철 이용효율성이 낮은 역세권에 대해서 이와 같은 토지이용체계의 개편정책은 효과적이라고 할 수 있다. 이와 함께 보행속도가 지하철 통행속도에 많은 영향을 미치는 만큼 역세권의 보차분리정책을 통한 보행속도의 개선정책도 중요한 역할을 한다고 본다.

본 연구에는 아직까지 개선을 요하는 부분이 많이 포함되어 있다. 대표적인 것이 역세권의 근로가능인구와 종사자를 건물의 평면적과 용도지역의 허용용적률을 바탕으로 건물과 셀에 배분한 것이다. 그 밖에도 지하철 역세권을 임의의 도보거리로 한정하여 모든 역세권에 동일하게 적용한 점, 역세권에서 도보이외의 교통수단을 통해서 지하철을 이용하는 통행자를 고려하지 못한 점, 지하철 이용자 자료와 인구 및 종사자 통계자료의 조사 시점이 일치하지 않는 점, 고용가능 인구 외에도 지역의 특성을 고려한 변수를 포함시키는 것 등을 들 수 있다. 또한 통근목적 이외에도 통학, 쇼핑, 업무, 서비스, 여가 등 다양한 통행목적을 위한 지하철 이용에 있어서 효율성을 분석해야 한다. 이와 같은 일들은 향후 지속적으로 수행되어야 할 후속 연구과제들을 밝히둔다.

참고문헌

김광식, 1987, “접근도의 개념과 측정치”, 『대한교통학회지』, 5(1): 33~46.

- 김동찬·임동민, 1999, “역세권의 토지이용 및 이용행태 분석에 관한 연구”, 『국토계획』, 34(4): 25~37.
- 김선희 외 15인, 2003, 『자원절약적 국토발전방안 연구』, 국토연구원.
- 이승일, 2004, “GIS를 이용한 수도권 지하철 광역접근도 분석연구”, 『국토계획』, 39(3): 261~275.
- 이재영·송태수, 2004, “수도권 신도시의 역세권과 지하철 이용행태 변화분석”, 『국토계획』, 39(4): 93~103.
- 이희연, 1997, “접근도의 변화에 따른 역세권의 토지이용 변화와 개발방향에 관한 연구: 건대역을 사례로 하여”, 『대한지리학회지』, 32(1): 69~90.
- 임희지, 2004, “대중교통활성화를 통한 도시공간의 효율적 활용방안”, 『토지와 기술』 17(2), 『도시정보』 268 공동발간: 69~86.
- 정은주, 2004, “새주소 체계정보의 효율적 활용방안에 관한 연구”, 서울시립대학교 도시과학대학원 도시계획학과 석사학위논문.
- 한봉림, 1991, “지하철 건설에 따른 주변지역의 지가변화에 관한 연구”, 『지역사회개발연구』, 16(1): 177~198.
- Hansen, W.G., 1959, “How accessibility shapes land use?”, *Journal of the American Planning Association* 25(1): 73~76.
- Keeble, D., Owens, P.L. and Thompson, C., 1982, “Regional accessibility and economic potential in the European Community”, *Regional Studies* 16: 419~432.
- Krygsman, S., Dijst, M. and Arentze, T., 2004, “Multimodal public transport: an analysis of travel time elements and the interconnectivity ratio”, *Transport Policy* 11: 265~275.
- Lee, S., 2003, “Reconnaissances of environmentally sustainable urban structure”. *International Journal of Urban Sciences* Vol. 7 No. 2, p148~168.
- Mugavin, D., 2003, “Compact city: some aspects and lessons from Singapore”, *International Journal of Urban Sciences* 7(2): 180~192.
- Schuermann, C., Spiekermann, K. and Wegener, M., 1997, *Accessibility Indicators*, Berichte aus dem Institut fuer Raumplanung, SASI Deliverable D5. Report to the European Commission. Dortmund: Institut fuer

Raumplanung Universitaet Dortmund.
Wegener, M., 1983, *Description of the Dortmund
Region Model*, Arbeits-papier 8. Dortmund:
Institut fuer Raumplanung Universitaet
Dortmund.
Wegener, M., 1974, "Polis: Simulationsmodell fuer die

Stadtentwicklungsplanung: Routensuchalgorithmen".
Battelle-Institut (unpublished paper).

원 고 접 수 일 : 2004년 11월 8일

1차심사완료일 : 2004년 11월 18일

최종원고채택일 : 2004년 11월 22일