Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 17(3) 2014, pp. 147-159
http://dx.doi.org/10.11108/kagis.2014.17.3.147

부산시 역세권 TOD계획요소의 공간특성과 지하철 이용객 수의 상관성에 관한 실증연구

최돈정[1] · 서용철[2※]

An Empirical Study on the Correlation between TOD Planning Elements and Subway Ridership in Busan Metropolitan City

Don-Jeong CHOI[1] · Yong-Cheol SUH[2※]

요 약

높은 수준의 TOD(대중교통 지향형 도시개발 : Transit Oriented Development)계획요소는 도시민의 대중교통 이용수요를 상승시키고 이는 지역의 보행환경을 개선하는 결과를 가져올 수 있다. 일반적으로 TOD 계획요소는 역세권 주변의 토지이용에 대한 다양성과 대중교통의 접근성, 그 외 도시디자인 측면에서 평가되어 왔다. 특히 지하철역을 중심으로 하는 역세권 개발의 특성상 TOD 계획요소의 공간특성은 주변지역의 범위설정에 의존적일 가능성이 존재한다. 또한 물리적 TOD계획요소 이외에 지역의 사회경제적 특성 또한 대중교통의 수요에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 TOD에 관한 연구 시 권역설정에 따른 계획요소의 공간특성 변화와 해당지역의 사회경제적 특성을 주목할 필요가 있다. 본 연구에서는 부산시 지하철 역 주변을 대상으로 상이한 공간단위별로 도출된 TOD 계획 수준의 변화를 분석하였다. 또한 지하철 이용객 수와의 다중회귀분석을 통해 효과적인 TOD계획요소의 분석 공간단위를 탐색하였다. 이와 병행하여 사회경제적 요소를 추가적으로 적용한 다중 회귀모형과의 비교분석을 수행하여 TOD계획지표 이외에 사회경제적 변수의 적용 가능성을 검토하였다. 분석결과 공간단위의 설정에 따라 TOD계획지표의 공간분포에 변동성을 발견하였고 연구지역에서 효과적으로 적용 가능한 특정 공간단위를 도출하였다. 또한 물리적 TOD계획요소 이외에 추가적으로 사회경제적 변수를 적용한 다중 회귀모형이 보다 개선된 추론결과를 도출하였다.

주요어 : 대중교통 지향형 개발(TOD), TOD 계획요소, 공간특성, 지하철 승하차 인구

2014년 7월 22일 접수 Received on July 22, 2014 / 2014년 8월 26일 수정 Revised on August 26, 2014 / 2014년 9월 16일 심사완료 Accepted on September 16, 2014

1 부경대학교 공간정보시스템공학과 Department of Spatial Information Engineering, Pukyong National University

2 부경대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Pukyong National University

※ Corresponding Author E-mail : suh@pknu.ac.kr

ABSTRACT

Public transportation ridership and walkability of urban district can be enhanced through high quality of TOD(Transit Oriented Development) elements. Generally, TOD have been evaluated several physical components such as the diversity of land use pattern, accessibility of public transportation and aspects of urban design around the station area. Especially, Spatial characteristics of TOD planning elements have many potential dependent when considering the characteristics of Rail Station-Influenced Area Development which is performing around subway station. Therefore, researchers should be considering the variation of spatial properties for planning elements according the set of spatial area and their socioeconomic factors. However, existing many cases related TOD does not consider about this point. In this paper, the changes of TOD characteristics were analyzed by different spatial units surrounding subway station in Busan Metropolitan City. Multiple Regression Analysis was performed for an investigation of effective spatial unit of TOD planning elements in this area using subway ridership data. In addition, the application validity of socioeconomic variables was examined through a comparative analysis of regression results with the multiple regression that implied only physical TOD elements. As the result, the variation of spatial properties for TOD planning elements according to the set of spatial unit was found. Furthermore, the specific spatial unit to applicable TOD elements in this area was derived. And the multiple regression model which added socioeconomic variables was derived more improved estimate results than the multiple regression model that implied only physical TOD elements.

KEYWORDS : Transit Oriented Development(TOD), TOD Planning Elements, Spatial Characteristics, Subway Ridership

서 론

대중교통 지향형 도시개발(TOD : Transit-Oriented Development, 이하 TOD)은 지하철 역과 같은 대중교통 결절점을 중심으로 대중교통시설, 토지이용의 밀도(Density) 및 다양성(Diversity), 보행 친화적 도시설계(Walk Friendly Urban Design)를 핵심요소로 하는 도시개발 방식이다(Sung *et al.*, 2007). 1990년대 이후 국내에서는 TOD요소에 대한 연구가 활발하게 진행되어 오고 있는 추세이다. 이러한 TOD계획요소는 연구목적에 따라 개별 요소(Element)로써 파악될 수도 있고 일련의 함수관계를 통한 지표(Indicator)형태로 산출되기도 한다. 두 개념의 차이는 지표의 분류(Categorizing)과정 이루어지느냐 여부에 따라 차이가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 지표를 토지피복 특성과 교통특성, 대중교통 접근성, 사회경제적 특성으로 분류 하여 분석을 수행하였다. 일반적으로 국내의 TOD에 관한 연구는 지하철 역 주변의 특정반경(Buffer Zone)을 중심으로 수행된다. 특히 지하철 역 주변의 특정반경 안에 포함되는 토지이용이나 교통환경 등의 TOD계획요소를 정량화한 다음 이를 등급화 하는 연구가 주류를 이룬다. Ewing and Cervero(2001)은 TOD관련 다양한 연구들의 다중 회귀분석 결과를 고찰·분석하였다. 그 결과 TOD계획 요소별로 이용자의 통행거리와 통행시간이 일정부분 감소함을 제

시하고 있다. 이는 TOD계획요소가 해당공간을 이용하는 도시민에게 보다 짧은 이동여건을 제공한다는 의미이다. 다시 말해 높은 수준의 TOD계획은 도시민에게 보다 많은 목적지를 수월하게 이동할 수 있는 여건을 제공한다는 결과이다. 또한 Oh and Jeong(2013)의 연구를 살펴보면 TOD계획요소가 도시철도의 통행수요에 유의한 영향을 미치는 것으로 제시되었다. 이 연구들은 본 연구에서 지하철 승하차 인구와 TOD계획요소의 다중회귀분석을 통해 연관성을 파악하고자 하는데 있어 논리적 근거를 제공하고 있다. Cho *et al.*(2011)은 국내의 TOD 현황과 그 외 계획측면의 요소들을 수집하고 이에 대한 중요도 설문을 통해 TOD계획요소로 반영할 지표를 도출하고자 하였다. 연구결과 토지이용, 도시설계, 대중교통 분야의 38가지의 세부 계획요소를 도출하였고 이를 통해 이용자 측면을 고려한 도시계획과 교통계획분야의 통합 가이드라인을 제시하였다. Joo *et al.*(2012)은 서울시 2개 역세권의 토지이용 다양성, 도시개발 밀도, 도시디자인, 대중교통 공급수준을 주요 TOD계획요소로써 정의하고 이 요소들이 실제 보행에 미치는 영향을 분석하였다. Lim *et al.*(2013)은 서울시 212개 역세권을 대상으로 TOD계획요소의 정량적 산출 및 이에 대한 중요도 분석을 실시하였다. Choi *et al.*(2013)의 경우 공간정보를 활용한 서울시의 역세권을 유형별 구분을 시도하였다. Shin and Lee(2012)는 개발밀도, 복합성, 접근성, 설계요소등과 연관된 서울시 TOD계획요소가 실제 지하철 유동통행량에 미치는 영향에 관해 분석하였다. 기존의 TOD관련 연구들은 대다수가 지하철 역 주변의 거리를 기준으로 한 임의의 반경을 연구의 공간범위로 설정하고 있다. 일반적으로 점(Location) 형태의 지하철 역 주변지역을 중심으로 수행되는 TOD관련 연구의 특성상 주변반경을 정의하는 방식에 따라 TOD계획수준 또한 상이하게 도출될 가능성이 크다. 이는 수정 가능한 공간단위 문제(Modifiable Areal Unit Problem: MAUP)로써 권역설정에 따른 분석 결과의 상이함을 의미한다(Fotheringham and Wong, 1991). 다시 말해 동일한 TOD계획지표와 동일한 지하철역을 중심으로 분석을 수행한다고 해도, 지하철역을 중심으로 설정되는 거리 반경에 따라 TOD계획요소의 정량화는 상이한 결과를 도출할 수 있다는 의미이다. 이러한 MAUP의 효과에 대한 충분한 고려가 없을 시 TOD계획 수준에 따른 보행유발 효과의 추론에도 심각한 오류를 발생시킬 수 있다. 일정한 구역(zone)안에 포함되는 물리적 환경 요소를 정량적으로 산출하는 TOD 연구방식의 특성상 결국 구역의 설정에 의존적인 결과를 도출할 가능성이 크다. 실제 Houston(2014)의 연구에서는 도시의 물리적 환경과 신체활동의 연관성에 대한 분석 시, MAUP의 영향으로 인해 결과의 변동성이 심각하게 발생할 수 있음을 제시하였다. 또한 보행성 분석 시 이웃(neighborhood)의 버퍼존이 분석결과에 실질적으로 영향을 미치는 상황에 대한 연구보고 또한 이루어지고 있다(Villanueva *et al.*, 2014). 이러한 결과는 실제 대중교통 수요와의 관계에도 영향을 미칠 수 있다는 점에서 주목할 만하다. 그러나 기존의 연구는 TOD계획수준 정량적 산출과 평가라는 목적 이외에 공간범위 설정에 따른 분석결과의 변화에 대해서는 상대적으로 관심이 미흡하다. 또한 국내의 TOD관련 연구는 물리적 환경만을 주요지표로 선정하여 연구를 진행하는 경향이 강한데 이는 연구지역이 포함하는 다양한 특성을 충분히 고려하지 못한다는 한계가 있다. Hayati *et al.*(2014)에 따르면 인구밀도나 GDP 또한 지역의 TOD수준과 밀접한 관계가 있음을 제시하고 있다. 또한 Cardozo *et al.*(2012)에 따르면 고밀복합의 토지이용이나 대중교통 접근성 등에 대한 높은 수준의 TOD계획 요소는 지가의 상승을 가져오며 이러한 지역은 높은 고용률을 보이고 있었다. 이러한 연구결과는 TOD 계획요소에 대한 평가 시 지역의 사회경제적 요소 또한 고려되어야 하는 근거를 제시하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 부산시 41개 지하철 역사를 중심으로 4가지의 상이한 공간범위를 설정하여 TOD계획요소를 정량적으로 산출하고 결과의 변동성을 파악하고자 하였다. 또한 물리적 TOD계획요소 이

외에 지가, 고용, 소득에 관한 사회경제적 요소를 추가적으로 적용하여 다중회귀 분석을 수행하였다. 이를 통해 연구지역의 TOD계획요소 분석 시 공간범위 설정에 따른 MAUP의 효과를 검토하였다. 또한 다중 회귀 분석결과 도출된 공간단위별 주요 통계량의 비교를 통해 본 연구에서 적용된 4가지 공간단위 중 통계적으로 가장 신뢰도 있는 공간 단위를 도출하였다.

자료구축 및 연구방법

1. 연구지역

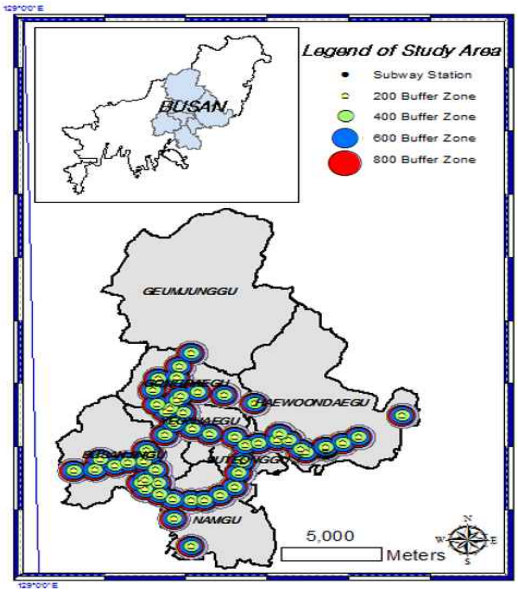


FIGURE 1. Study area

부산광역시는 2030년 도시 기본계획에서 역세권 개발과 관련한 TOD 중심의 복합토지 이용활성화를 계획하고 있다. Sim *et al.*(2013)의 경우 부산광역시의 역세권 공간구조에 대해 지리가중 회귀모형을 적용 하였다. 또한 Sung *et al.*(2014)의 경우 역세권 공간구조와 지하철 이용수요의 상관성에 대한 분석을 수행하였다. 그러나 그 외 부산광역시 TOD관련 연구는 턱없이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 연구 대상지를 부산광역시로 설정하였다. 부산광역시의 7개 구에 대한 45개 지하철역을 대상으로 4 가지의 상이한 버퍼존을 설정하여 분석 공간범위로 활용하였다. 부산광역시의 경우 행정구역상 총 16개의 구로 이루어져 있다. 그러나 연구지역을 제외한 나머지 구의 경우 산업이나 항만시설 등으로 인해 버퍼존에 불필요한 물리적 요소가 포함되었다. 따라서 TOD계획지표의 산출이라는 본 연구의 1차적인 목표를 고려하여 각각 5~7개의 비슷한 지하철역을 포함하는 7개 구(남구, 수영구, 동래구, 해운대구, 부산진구, 금정구, 연제구)로 연구지역을 한정하였다(그림 1).

2. TOD 계획지표의 선정 및 산출방법

TOD계획요소를 평가하는 연구들은 지하철역을 중심으로 한 고밀 복합적인 토지이용과 대중교통의 공급수준을 정량화 하는데 초점을 맞춘다(Loo and Chan, 2010).

본 연구에서는 이러한 연구들이 TOD계획요소를 평가할 시 적용하는 지표를 검토하여 공

TABLE 1. TOD Planning elements of study

Indicator	Definition	Reference
Land use mix	Diversity of land Use Purpose in buffer zone	Frank *et al.*, 2005
Street connectivity	Mean of street connectivity components	Tresidder, 2005
Transportation accessibility	Density of other transportation station	Oh and Jeong, 2013
Residential density	Density of residential building	Kang, 2013
Retail density	Density of residential area	
Population density	Population density of buffer zone	Cardozo *et al.*, 2012
Employment	Grid based employment(100m×100m)	
Land price	Mean land price of buffer zone	
Income	Mean estimated income of buffer zone	

TABLE 2. Calculation and code name of TOD elements

Indicator(code name)	Equation	Code name
Land use mix	$-\frac{\sum_{i=1}^{k}[(p_i)\times(\ln p_i)}{\ln k}$ p_i : *Ratio of Each Land Use per Buffer Unit* k : *Nmber of Land Use Pattern*	LUMZ
Street connectivity	*Street Connectivity* $=[(Intersection\ Density)+(Node\ Link\ Ratio)+(Average\ Block\ Length)+(Street\ Density)]/4$	STCZ
Transportation accessibility	Density of other transportation station	DEN_BUSZ
Residential density	Sum of floor area of retail/ area	REDENZ
Retail density	Sum of floor area of retail/area	CMDZ
Population density	Total population of area/area	POPZ
Employment	Total employment of area	EMP
Land price	Mean land price of area	MLPZ
Income	Mean estimated income of buffer zone	MCIZ

통적으로 활용되는 부분을 분석에 활용하였다. 또한 최근 들어 지하철 역세권 중심으로 한 다양한 사회경제적 현상의 공간특성을 파악하고자 하는 연구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 이러한 상황을 고려하여 지가와 고용에 관한 변수를 추가 하였다. 지가와 고용의 경우 특정 버퍼존 안에 포함 되는 집계구 통계자료를 취합하여 분석에 활용하였다. 모든 지표는 각 지하철역에 속하는 4가지 버퍼존(200m, 400m, 600m, 800m)을 구분하여 산출하였다. 최종적으로 본 연구에서 활용한 지표와 지표별 개념을 표 1에 정리하였다. 대부분의 지표는 밀도나 비율기반의 수치와 인덱스 형태로 산출된다. 그러나 측정 단위가 다르기 때문에 최종적으로는 Z-Score를 산출하여 통계모델에 적용하였다. 각 지표의 산출 방식과 분석에 사용될 변수의 코드명(Code Name)은 표 2와 같다.

3. 자료구축

본 연구에서 분석에 활용한 모든 데이터는 2011년을 기준으로 적용하였다. 분석에 사용된 데이터는 크게 물리적 TOD계획요소 추출을 위한 토지피복도와 수치지형도, 그리고 속성자료로 활용할 통계자료로 구분된다. 토지피복도의 경우 환경 공간정보에서 제공 받은 중분류 자료 중 시가화 건조지역 자료만을 추출하여 사용하였다. 수치지형도의 경우 국토지리 정보원의 1:5,000 수치지형도를 도로, 교차점, 건물 레이어의 면적과 밀도를 각 버퍼존 기반으로 공간질의과정을 거쳐 속성정보로 입력하였다. 속성화된 TOD계획지표의 경우 비율과 면적기반의 상이한 단위로 정량화하여 Z-Score로 변환하는 과정을 거쳐 최종적인 분석DB를 구축하였다. 특히 본 논문의 Street Connectivity항목은 Tresidder(2005)의 연구에서 산출한 다수의 Street Connectivity 구성 요소 중 현재 분석에 활용할 수 있는 여건이 되는 4가지 요소(교차로, 도로길이, 블록길이, 도로밀도)의 평균값을 활용하였다. 각각의 요소에 대한 산출은 버퍼존 안의 밀도, 비율, 평균에 관한 공간질의를 통해 이루어졌다. 통계자료의 경우 통계청 SGIS의 집계구별 인구, 가구, 사업체 자료를 활용하였으며 집계구별로 속성화 하여 각 버퍼존 별 평균값을 활용하였다. 추가적으로 적용된 고용과 지가자료의 경우 (주)BIZ-GIS의 자료를 활용하였다. 해당 자료의 경우 100m×100m 격자망 형태의 포인트 자료로 제공받아 버퍼존 별 평균값 자료로 환산하여 활용하였다. 마지막으로 본 연구의 종속변수로 활용된 지하철 승하차 인구자료는 부산 교통공사의 2011년도 집계자료 중 승하차인구 총합과 일별평균

자료를 활용하였다. 분석은 크게 GIS관련 작업과 통계적 모델링으로 나뉘는데 GIS관련 작업은 ArcGIS Desktop 10.1을 활용하였고 통계분석은 SPSS21과 Matlab을 활용하였다.

4. 분석방법

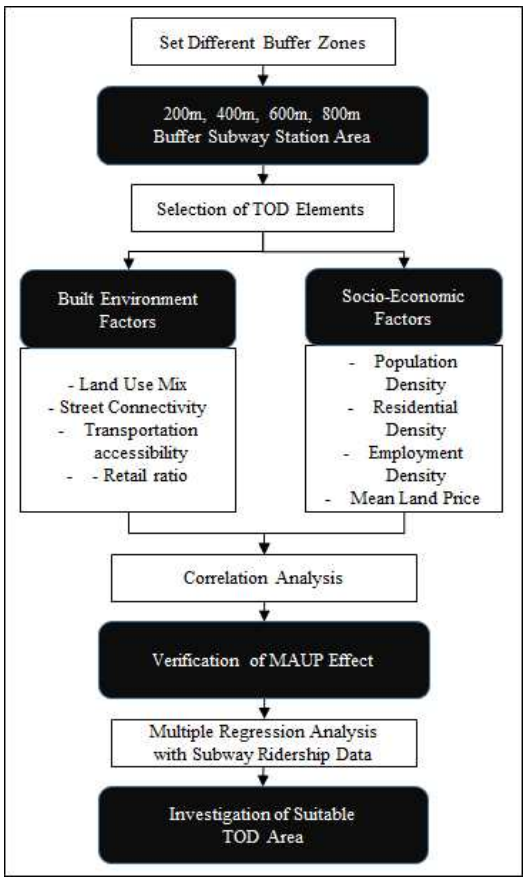


FIGURE 2. Study flowchart

본 연구에서는 공간범위 설정에 따른 부산광역시의 TOD계획요소가 가지는 공간특성의 변화를 파악하였다. 또한 이러한 공간 특성에 따라 지하철의 실제 이용자수와 어떠한 연관성의 변화를 보이는지 분석하였다. 전체적인 분석의 절차는 그림 2와 같다. 연구의 전체적인 절차는 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 번째는 지하철 주변 지역의 공간범위 설정에 따라 달라지는 TOD 계획요소 간 상관계수의 변화추이를 파악하여 MAUP의 존재 유무를 검증하는 것이다. 두 번째 목표는 각 버퍼존으로 산출된 TOD계획요소와 지하철 승하차 인구와의 다중 회귀분석을 통해 부산광역시 TOD계획요소 분석 시 효과적인 공간범위를 탐색하는 것이다.

분석결과

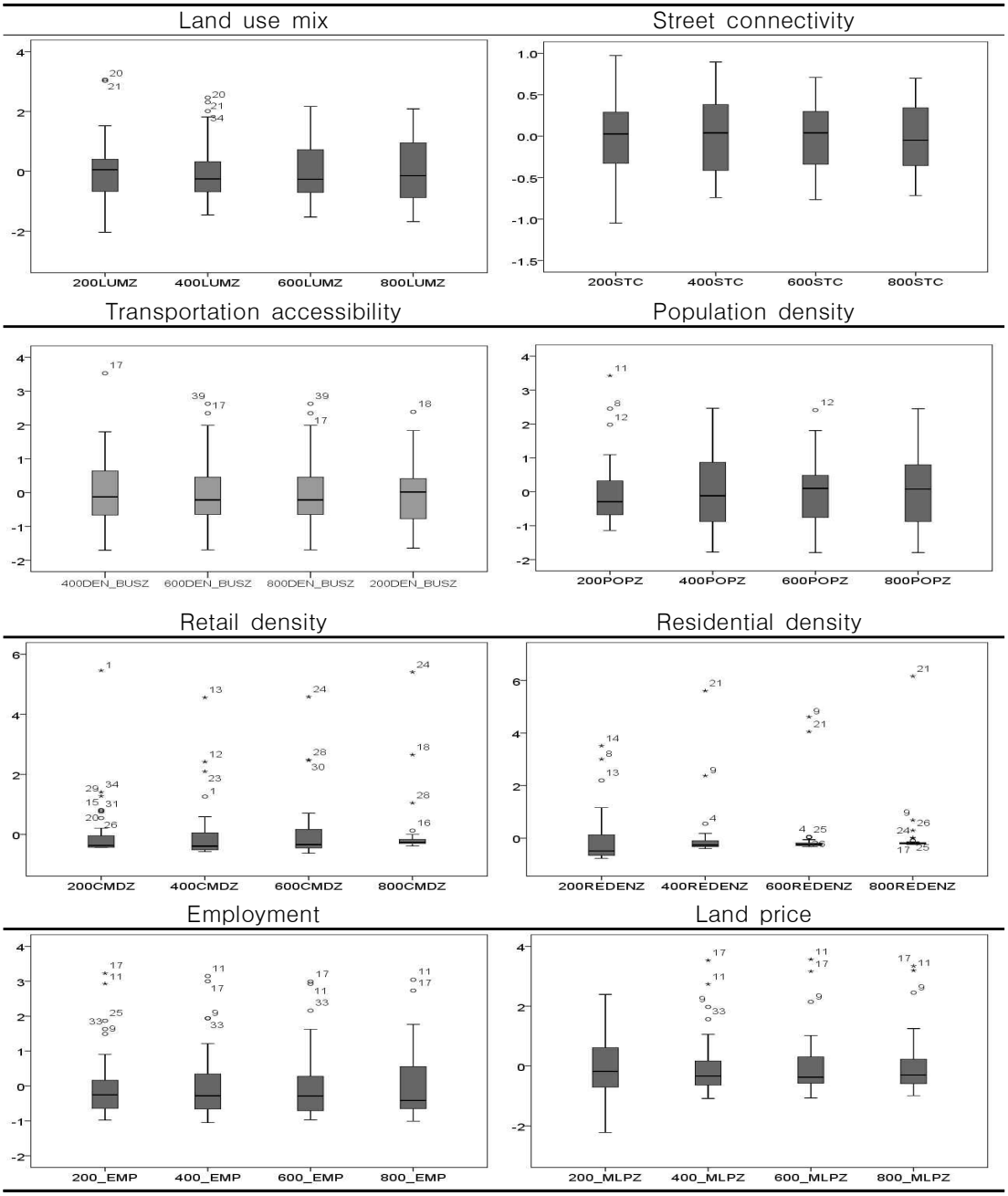
1. TOD 계획요소의 산출과 공간특성 분석

본 연구에 적용된 변수는 Z-Score를 기반으로 활용되었다. 표 3은 공간범위별로 산출된 연구지역 TOD계획지표의 Z-Score에 대한 공간범위별 Box Plot 이다. Box Plot을 통해 각 지표의 분포에 대해 중앙값과 사분위수, 최대와 최소 값의 위치를 통해 분포형태와 이상치를 판단할 수 있다. 각각의 TOD지표가 가지는 분포를 살펴보면 우선적으로 공간범위별 TOD계획지표의 분포에 변동성이 있음을 확인할 수 있다. Land Use Mix, Population Density 그리고 Land Price의 경우 다른 공간범위와 달리 이상치 부분에서 공간범위에 따른 변동성을 파악할 수 있다. 지하철 역 주변의 계획지표 간 연계를 통해 효과를 도모하는 TOD의 특성 상 계획지표간의 상관성이 존재할 가능성이 크다. 이러한 상관성을 이용해 MAUP의 효과를 구체적으로 파악하기 위하여 상관계수를 산출하였다. 상관계수는 두 변수간의 선형(Linear) 관련성에 대한 강도(Strength)를 하나의 값인 상관계수(Correlation Coefficient)로써 나타낸다 (식 1).

$$r = \frac{\sum (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \overline{X})^2 (Y_i - \overline{Y})^2}} \quad (1)$$

표 4는 각 버퍼존 별로 적용된 TOD계획지표들 간의 상관계수 중 90%이상의 신뢰도를 나타낸 사항만을 나타낸 것이다. 표를 검토해보면 우선 200m버퍼에 속한 TOD계획지표의 경

TABLE 3. Box plot of Z-score



우 Land Use Mix와 Transportation Accessibility, Land Price와 Employment 간에 통계적으로 유의한 수준에서 양의 상관관계가 도출되었다. 또한 Employment와 Land Price 지표 간에 강한 양의 상관관계가 도출되었다. 한편 Transportation Accessibility와

TABLE 4. Pearson's correlation coefficient of TOD elements

	200LUMZ	200DEN_BUSZ	200STC	200REDENZ	200CMDZ	200POPZ	200_EMP	200_MLPZ	200_MCIZ
200LUMZ	1								
200DEN_BUSZ	.336*	1							
200STC			1						
200REDENZ				1					
200CMDZ					1				
200POPZ		−.263*				1			
200_EMP							1		
200_MLPZ							.815**	1	
200_MCIZ									1
400LUMZ	1								
400DEN_BUSZ		1							
400STC	−.563**	.	1						
400REDENZ	.509**		−.323*	1					
400CMDZ					1				
400POPZ		−.508**	−.318*			1			
400_EMP					−.412**		1		
400_MLPZ		.269*			−.350*		.899**	1	
400_MCIZ									1
600LUMZ	1								
600DEN_BUSZ		1							
600STC	−.571**	.392**	1						
600REDENZ	.394**			1					
600CMDZ	−.261*	−.297*			1				
600POPZ			−.379**			1			
600_EMP		.314*	.308*		−.310*		1		
600_MLPZ		.387**					.883**	1	
600_MCIZ							−.324*		1
800LUMZ	1								
800DEN_BUSZ		1							
800STC	−.544**	.368**	1						
800REDENZ				1					
800CMDZ					1				
800POPZ					−.270*	1			
800_EMP		.291*	.294*			.379**	1		
800_MLPZ		.414**				.392**	.870**	1	
800_MCIZ							−.397**		1

* p<0.1 / ** p<0.05 / *** p<0.0

Population Density 지표 간에는 음의 상관관계가 도출 되었는데 이는 중심업무지구(CBD)의 기능이 월등한 지하철 역 200m 반경에는 주거인구가 많지 않기 때문으로 판단된다. 400m와 600m 버퍼존의 경우 200m보다 다양한 TOD계획요소간의 상관관계가 도출되었다. 특히 200m 버퍼존과 다르게 Land Use Mix와 Transportation Accessibility 지표 간에 음의 상관관계가 도출되었고 Employment와 Land Price 지표 간에 강한 양의 상관관계가 도출되었다. 또한 Residential Density와 Land Use Mix 역시 강한 양의 상관관계를 나타내었

는데, 이는 지하철역의 중심으로 일정거리상에 존재하는 주상복합 건물의 분포로 인한 결과로 판단된다. 특히 600m 버퍼존의 경우 네 가지 공간단위 중 가장 많은 TOD지표간의 상관관계가 도출되었다. 800m 버퍼존의 경우 공간범위를 넓게 확장함에 따라 TOD계획지표간의 상관관계가 확연히 줄어드는 현상을 보이고 있는데 이는 TOD권역으로써의 공간특성 배후에 존재하는 주거지의 집중분포로 인한 결과로 판단된다. 그러나 네 가지 공간단위에서 공통적으로 Employment와 Land Price 지표 간에 강한 양의 상관관계가 도출 되었다는 점이 주목할 만하다. 이러한 양의 상관관계는 고밀 토지이용과 대중교통의 연계, 대중교통의 접근성 등의 TOD계획의 필수요소들의 유기성을 의미하는 것이다. 아울러 어느 한가지의 요소만이 아닌 TOD계획요소들의 집적은 TOD계획의 목적과도 유기적인 상관성을 나타낼 가능성이 있기 때문에 이에 대한 추가적인 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 공간단위별 TOD계획요소의 정량적 산출결과와 실제 대중교통 이용특성에 관한 다중 회귀분석을 수행하였다.

2. 다중 회귀분석 결과

본 연구에서 다중회귀분석을 활용한 통계적 추론 결과로써 파악하고자 한 목표는 두 가지로 나뉜다. 첫째, 동일한 TOD계획지표를 적용하여 분석을 수행 하였을 시 지하철 승하차 인구 동태를 설명하기 위한 가장 효과적인 공간범위를 파악하는 것이다. 두 번째, 물리적 TOD계획요소 이외에 추가적으로 사회경제적 변수의 적용에 대한 효용성을 검토하는 것이다. 이를 위해 물리적 TOD계획요소만을 변수로 활용한 모델과 사회 경제적 변수를 포함한 모델로 구분하여 다중 회귀분석을 수행하였다. 표 5는 물리적 도시환경만을 적용한 다중회귀 모델에 대한 주요 통계치를 나타낸다. 각각의 통계모형에 대한 비교검토를 위해 수정 결정계수(adj. R^2)와 AIC정보량을 활용하였다. 또한 독립변수간의 다중공선성(Multicollinearity) 문제를 파악하기 위해 각각의 공간단위별 분산팽창계수(VIF : Variation Index Factor)를 산출하였다. 산출결과 모든 공간단위별로 10이하의 VIF 값이 산출되어 변수간의 다중 공선성 문제는 없는 것으로 나타났다. 수정 결정 계수의 경우 독립변수의 종류가 증가할수록 높게 산출되는 경향이 있는 결정계수(R^2)의 단점을 보완할 수 있다. AIC(Akaike Information Criteria) 통계량의 경우 적은 종류의 독립변수로 양호한 모델 부합도를 보이는 모델이 AIC 지수 값이 작게 산출되며(Chung *et al.*, 2012), 일반적으로 두 모델 간의 차이가 4이상일 때 개선효과가 있는 것으로 판단한다. AIC 지수의 구체적 형태는 다음과 같다(식 2).

TABLE 5. Multiple regression analysis result summary transit ridership(model 1)

MODEL1	200 m Buffer zone		400 m Buffer zone		600 m Buffer zone		800 m Buffer zone	
	Coef.	t	Coef.	t	Coef.	t	Coef.	t
LUMZ	0.063	0.377	0.014	0.092	−0.029	−0.156	−0.167	−0.949
DEN_BUSZ	0.312	1.883 *	0.702	5.650 ***	0.431	2.557 **	0.521	3.310 **
STC	0.066	0.178	−0.544	−1.587	−0.315	−0.641	−0.524	−1.124
REDENZ	−0.154	−0.942	−0.031	−0.227	0.017	0.109	0.141	0.947
CMDZ	−0.202	−1.235	−0.144	−1.208	−0.246	−1.567	−0.103	−0.703
R2	0.167		0.526		0.285		0.272	
adj. R2	0.048		0.459		0.183		0.168	
F	1.407		7.777**		2.790		2.614	
AIC	119.832		96.707		113.588		114.330	

* p<0.1 / ** p<0.05 / *** p<0.01

$$AIC = \log(\frac{RSS}{n}) + \frac{2}{n}k \quad (2)$$

여기서
RSS : 잔차의 제곱합
n : 관측치의 수
k : 독립변수의 개수

우선 Model 1부터 살펴보면 네 가지의 통계 모델 중 adj. R^2를 검토한 결과, 400m 버퍼존 기반의 모형이 0.459로써 가장 좋은 모델 부합도를 보이고 있었다. 한편 t-검정 결과 분석에 적용된 4가지 공간범위 모두에서 대중교통 접근성을 나타내는 Transportation Accessibility (DEN_BUSZ)에 대한 유의성이 발견되었다. 또한 두 가지 모델 모두 400m 버퍼존에서 가장 높은 회귀계수를 도출하였다. 이상의 결과를 통해 물리적 변수만을 적용한 MODEL 1 결과 400M 의 공간범위 안에서 정량화된 TOD계획지표가 지하철 승하차 인구동태를 가장 잘 설명하는 것으로 나타났다. 표 6은 물리적 지표만을 적용한 MODEL 1과 달리 지가(Land Price), 고용(Employment), 인구(Population Density), 소득(Income)의 4가지 변수를 추가하여 수행한 결과를 나타낸다. MODEL 2의 경우 MODEL 1과 같이 400m 버퍼존에서 adj. R2 가 0.513으로 추정됨으로써 지하철 승하차 동태를 설명하기에 가장 효과적인 공간범위인 것으로 도출되었다. 이는 MODEL 1의 0.459에 비해 미약하지만 향상된 수치로써 사회경제적 변수의 적용이 모델 추정결과에 개선효과를 발생시킨 결과이다. 또한 AIC 지수역시 우선적으로 적용된 모든 공간 단위 중 400m 버퍼존에서 가장 낮게 산출되었다. AIC의 경우 MODEL 2가 MODEL 1에 비해 1이하의 수준에서 낮게 산출되어 모델간의 개선효과는 없는 것으로 판단되나 두 모델 모두에서 다른 공간단위보다 400m 버퍼존에서 4이상 낮게 산출됨으로써 개선효과가 있는 것으로 볼 수 있다.

결 론

본 연구에서는 부산광역시 7개 구의 41개 지하철 역 주변에 대하여 4 가지의 상이한 공간범위에 따른 TOD계획지표의 변동을 검토하였다. 그 후 지하철 승하차 인구자료를 종속변수로 설정하여 TOD계획요소와의 연관성을 파악하기 위해 다중 회귀분석을 수행하였다. 이를 위해 우선 Box Plot을 통해 각 TOD 지표의 분포를 검토하고 피어슨의 상관계수를 산출하여 수정 가능한 공간단위 문제(MAUP)의 발생을 검토하였다. 상관분석 결과 공간단위 설정에

TABLE 6. Multiple regression analysis result summary transit ridership(model 2)

MODEL2	200 m Buffer zone		400 m Buffer zone		600 m Buffer zone		800 m Buffer zone	
	Coef.	t	Coef.	t	Coef.	t	Coef.	t
LUMZ	0.104	0.654	0.001	0.009	-0.168	-0.741	-0.316	-1.655
DEN_BUSZ	0.236	1.423	0.622	4.394 ***	0.409	2.300 **	0.487	2.917 ***
STC	-0.008	-0.024	-0.800	-2.295 **	-1.045	-1.646	-1.211	-2.149 **
REDENZ	-0.049	-0.322	-0.004	-0.027	0.001	0.007	0.150	1.029
CMDZ	-0.073	-0.470	0.026	0.204	-0.244	-1.495	-0.078	-0.520
POPZ	-0.190	-1.259	-0.073	-0.520	-0.283	-1.743 *	-0.213	-1.358
EMP	0.319	1.295	0.121	0.423	0.398	0.960	0.583	1.551
MLPZ	0.149	0.598	0.252	0.928	-0.071	-0.188	-0.206	-0.582
MCIZ	0.195	1.294	0.112	0.911	0.048	0.315	0.026	0.172
R2	0.399		0.635		0.394		0.401	
adj. R2	0.225		0.513		0.218		0.227	
F	2.291		5.216**		2.241		2.307	
AIC	114.433		96.536		114.792		116.806	

* p<0.1 / ** p<0.05 / *** p<0.01

따라 TOD계획지표의 정량적 수준이 상이하게 도출되는 것을 확인하였다. 또한 각 공간범위별로 유의성을 가지는 변수의 상관관계가 상이하게 도출되었다. 이를 통해 공간 범위 설정에 따른 MAUP의 Scale Effect를 확인할 수 있었으며 이를 해결하기 위한 접근 방식으로 공간범위별 독립적인 다중회귀 모형을 적용하였다. 또한 기존 문헌 검토 후 적용된 사회경제적 변수의 효용성을 파악하기 위해 지가, 고용, 인구, 소득에 관한 변수를 추가하여 추가적인 다중회귀 모형을 수행하였다. 물리적 요소만을 고려한 모형과 사회경제적 요소를 추가적으로 적용한 다중회귀 모형간의 비교검토를 수행하였고, 이를 통해 TOD계획요소에 관한 연구 시 사회경제적 변수의 적용 타당성을 검토하였다. 다중회귀 모형 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 400m의 공간 범위가 연구지역의 TOD 계획요소에 대한 실증 분석 시 가장 효과적인 공간범위임을 도출하였다. 다양한 공간분석의 종합적 접근은 공간 단위의 설정에 따라 발생할 수 있는 MAUP의 해결 방안 중 하나로 활용할 수 있는 접근 방식이라 판단된다. 둘째, 사회경제적 변수를 적용한 다중회귀모형 결과가 물리적 요소만을 고려한 모형보다 개선된 추정결과를 도출하였다. 이는 TOD계획요소와 지하철 이용자 수와의 연관성에 관한 분석 시 물리적 도시환경 이외에 사회 경제적 변수의 적용이 긍정적인 효과를 도출할 수 있음을 확인하였다. 근래에 들어 역세권 주변의 물리적 환경에 대한 과학적 평가와 그를 통한 효과적인 도시개발의 중요성이 부각되고 있다. TOD는 이러한 기조에 매우 중요한 역할을 하는 도시계획 기법으로써 연구적 가치 또한 상승하고 있다. 그러나 공간상에 분포하는 도시환경을 정량화 할 때 공간범위에 따른 결과의 상이함에 대한 주목 또한 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 또한 지역의 사회경제적 환경요인을 고려하지 않는 TOD연구는 자칫 중요한 정보를 누락하는 오류를 범할 가능성이 있다. 본 연구는 이러한 부분에 대한 문제를 실증적으로 다루었다는 점에서 중요한 시사점을 제시하였다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의해 연구되었음. KAGIS

REFERENCES

Cardozo, O.D., J.C. Gracia-Palomares, and J. Gutierrez. 2012. Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station-level. Applied Geography 34:548-558.

Cho, K.M. and Y.T. Cho. 2011. Analysis of planning factors for transit-oriented development. Journal of the Korean Urban Management Association 24(3): 307-325 (조규만, 조영태. 2011. 대중교통 지향형 도시개발을 위한 계획요소 분석에 관한 연구. 도시행정학보 24(3):307-335).

Choi, H,S., T.H. Kim and J.H. Lee. 2013. A study on the classification of the spatial characteristics by TOD planning elements of subway station areas in Seoul. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 16(2):1-15 (최형선, 기태호, 이주형. 2013. 서울시 지하철 역세권의 TOD 계획요소별 공간적 특성 분류. 한국지리정보학회지 16(2):1-15).

Chung, K.S., S.W. Kim and Y.W. Lee. 2012. A comparative study on the goodness of fit in spatial econometric models using housing transaction prices of Busan, Korea. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 15(1):43-51 (정건섭, 김성우, 이양원. 2012. 부산시 실거래 주택매매 가격을 이용한 공간 계량 모형의 적합도비교연구.

한국지리정보학회지 15(1):43-51).

Ewing, R. and R. Cervero. 2001. Travel and the built environment: a synthesis. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1780(1):87-114.

Fotheringham, A.S. and D.W.S. Wong. 1991. The modifiable areal unit problem in multivariate statistical analysis. Environment and Planning A 23(7): 1025-1044.

Frank, L.D., L.S. Thomas, F.S. Jameson and C.MS. James. 2005. Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form: findings from SMARTRAQ. American Journal of Preventive Medicine 28(2): 117-125.

Hayati S.H., T.P. Soemardi, R. Koestoer and S. Moersidik. 2014. The role of transit oriented development in constructing urban environment sustainability, the case of Jabodetabek, Indonesia. Procedia Environmental Sciences 20:622-631.

Houston, D. 2014. Implications of the modifiable areal unit problem for assessing built environment correlates of moderate and vigorous physical activity. Applied Geography 40-47.

Joo, Y.J., E.J. Ha and C.M. Jun. 2012. An empirical evaluation scheme for pedestrian environment by integrated approach to TOD planning elements. Journal of Korea Spatial Information Society 20(3):15-25 (주용진, 하은지, 전철민. 2012. TOD 계획 요소의 통합적 접근을 통한 친보행 환경의 평가 방안. 한국공간정보학회지 20(3):15-25).

Kang, C.D. 2013. Measuring walkability index and its policy implications in Seoul, Korea. Seoul Studies 14(4):1-25 (강창덕. 2012. 서울시 보행 편의성 지수 측정과 정책과제. 서울도시연구 14(4): 1-25).

Lim, S.J., J.T. Park and T.H. Kim. 2013. Comparative study on the characteristics of public transport users according to the types of transit station influence areas in Seoul' s urban railway' s. Journal of the Korean Society for Railway 16(2):129-137 (임삼진, 박준태, 김태호. 2013. 서울시 도시철도 환승역세권 유형별 대중교통이용자 특성 비교연구. 한국철도학회논문집 16(2):129-137).

Loo, B.P.Y., C. Chen and E.T.H. Chan. 2010. Rail-based transit-oriented development: lessons from New York City and Hong Kong. Landscape Urban Planning 97:202-212.

Oh, E.Y. and B.H. Jeong. 2013. A study on the impact of TOD planning factors on public transit demand: the case of subway station areas in Gwangju metropolitan city. Journal of the Korean Urban Management Association 26(4): 219-239 (오은열, 정봉현. 2013. 대도시에서 TOD계획요소가 대중교통수요에 미치는 영향: 광주광역시 도시철도역세권을 중심으로. 도시행정학보 26(4):219-239).

Shin, Y.H. and J.H. Lee. 2012. An empirical analysis of influencing factors and classifying of TOD planning elements affecting demand of the Seoul subway. Design Convergence Study 11(3):125-143 (신임호, 이주형. 서울시 지하철 유동 통행에 영향을 미치는 대중교통

지향형 개발(TOD) 계획요소의 통합유형화 및 실증분석. 디자인융복합연구 11(3): 125-143).

Sim, J.S., H.Y. Kim, K.W. Nam and S.H. Lee. 2013. Analysis of the characteristics of subway influence areas using a geographically weighted regression model. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 16(1):67-79 (심준석, 김호용, 남광우, 이성호, 2013. 지리가중회귀모델을 이용한 역세권 공간구조 특성 분석. 한국지리정보학회지 16(1):67-79).

Sung, H.G., J.H. Park and D.J. Kim. 2007. Impact analyses of transit-oriented development and revising current transportation and urban planning laws for its application in Korea. The Korea Transport Institute (성형곤, 박지형, 김동준. 2007. 대중교통지향형 도시개발의 효과분석 및 유도기법 적용방안. 한국교통연구원 연구총서 2007-03).

Sung, H., K. Choi, S. Lee and S.H. Cheon. 2014. Exploring the impacts of land use by service coverage and station-level accessibility on rail transit ridership. Journal of Transport Geography 36: 134-140.

Tresidder, M. 2005. Using GIS to Measure Connectivity: An Exploration of Issues. Portland State University.

Villanueva, K., M. Knuiman, B.G-C. Nathan, H. Christian, S. Foster and F. Bull. 2014. The impact of neighborhood walkability on walking: does it differ across adult life stage and does neighborhood buffer size matter?. Health, Place 25:43-46. KAGIS