

# 역세권 토지이용 특성을 기반으로 한 도시철도 통행발생 모형

유 경 상\*

## A Landuse-based Trip Generation Model for Urban Railway System

Gyeong-Sang Yoo\*

**요약** : 본 연구에서는 도시철도 역세권의 토지이용 특성과 노선·역 특성을 기반으로 군집분석과 회귀분석을 이용하여 도시철도 발생 수요에 영향을 미치는 주요 인자를 분석하고, 이들 인자를 사용하여 역세권 발생 수요를 직접 추정하는 모형을 구축하였다. 영향인자의 경우 업무·상업중심 지역에서는 유동인구수, 역밀도, 업무 및 상업면적이, 주거중심지역에서는 역밀도, 토지이용 다양성(LUM) 및 환승노선수가 상대적으로 수요에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 모든 지역에서 상업면적에 대한 수요의 탄력성이 업무면적에 대한 수요의 탄력성보다 크게 나타났고, 토지이용 다양성은 기대와는 달리 수요에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 향후 심도 있는 추가연구가 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서 구축된 모형은 지하철 9호선에 적용하여 그 적합성이 확인되었고, 향후 4단계 기법에 이용한 예측 수요를 토지이용 측면에서 검증하고자 할 때 하나의 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어** : 도시철도, 수요예측, 수요검증, 역세권, 토지이용, 군집분석

**ABSTRACT** : This research investigates the factors influencing the demand for urban railway system, and aims to propose a trip generation model based on the land use characteristics of the adjacent area of railway station. The models explain major factors that affect travel demands in the location of different land uses in urban area. In CBD pedestrian traffic, the density of station, and office/commercial space are the most influencing factors while the density of station, land use mix and the number of transfer lines act as dominant factors for residential area. In terms of elasticity, commercial space is more responsible than office space in most cases accounting for the relationship between land use and ridership. One very interesting finding is that high land use mix has negative influence on travel demands. The causes of this unexpected result need to be studied carefully in future research. The suitability of the models is also evaluated through the application in the case of subway 9 line, compared with the traditional 4-step demand forecasting method. It is expected the proposed models are very useful for the verification of the forecasted demand through the traditional 4-step method from the perspective of land use.

**Key Words** : urban railway, demand forecast, demand verification, adjacent area of station, land use, cluster analysis

\* 서울연구원 교통시스템연구실 부연구위원(Associate Research Fellow, Department of Transportation System Research, The Seoul Institute).  
E-mail: uyg@si.re.kr, Tel: 02-2149-1076

## I. 서론

전통적으로 교통 수요예측은 교통존별 총 통행 발생량 예측(Trip Generation), 기종집간 통행분포(Trip Distribution), 수단분담(Modal Split), 통행배정(Trip Assignment)의 4단계를 거쳐 이루어지는 것이 일반적이다. 이 방법은 적용이 쉽고 간편하여 그동안 국내를 비롯한 해외의 많은 국가/도시에서 도로 및 철도 SOC 투자 사업의 타당성 조사 및 기본계획 수립, 민자사업을 위한 적격성 조사, 사후평가 등을 수행함에 있어서 교통 수요 예측의 기본 모형으로 활용되고 있다.

그러나 4단계의 순차적인 접근법에 내재된 모형의 속성상 각 단계의 예측 정확성은 선행단계의 예측 정확성에 크게 영향을 받는다. 즉, 선행단계에서 발생하는 예측 오차는 다음 단계에서 발생하는 예측오차와 합쳐서 더욱 증폭되기 때문에 최종 단계에서 예측된 수요의 정확성은 여러 선행단계의 발생오차에 크게 의존하게 되는 단점이 있다. 따라서 4단계 수요추정법의 적용 시에는 매 단계에서 사용되는 모형의 정확도를 높이는 한편, 최초 단계인 통행발생 모형의 정확성이 우선 담보되어야 한다(송재인 외, 2011).

교통 수요예측에 사용되는 교통존별 통행 발생량과 도착량 추정에는 해당 존의 인구수, 종사자수, 학생수, 자동차등록대수 등 사회경제지표를 기반으로 증감률법, 원단위법 또는 교차분류법, 회귀분석법 등이 널리 사용되고 있다. 일반적으로 통행 발생량 및 도착량은 주변 토지이용 특성에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있으나 교통존별 세부자료의 구득이 어려워 통행발생 예측모형에서 직접적으로 다루어지지 못한 한계가 있었다. 본 논문에서는 서울시 도시철도를 대상으로 토지

이용 특성을 고려한 수요예측 모형을 개발하였으며, 이를 위해 2010년 도시철도 수송실적 자료와 서울시 건축물과세대장으로부터 추출한 역별 역세권 토지이용 특성자료를 이용하였다. 특히, 개발된 모형을 지하철 9호선에 적용하여 역별수요를 예측하고 기존 연구와 비교를 통해 모형의 적합성을 평가하였다.

## II. 선행연구 고찰

그동안 토지이용과 교통의 연관성을 발생수요, 통행 패턴 등 교통의 다양한 측면에서 분석하고자 하는 많은 시도가 있었다.

김대웅 외(2004)는 대구시 지하철 1호선의 역세권 토지이용자료와 수송실적자료를 이용, 요인 분석 및 회귀분석을 통해 토지이용과 지하철이용 수요와의 관계를 분석하였다. 또한, 군집분석을 통해 역세권을 몇 개의 군집으로 분류하여 회귀모형을 적용하는 것이 그렇지 않은 경우보다 모형의 설명력 및 예측정도에 좋은 영향을 주는 것으로 연구결과를 제시하였다.

성현곤 외(2006)는 서울시 도시철도 역세권의 개발밀도가 높을수록 승용차보다는 도보를, 버스보다는 지하철의 통행비율을 높이는 것으로 분석하였고, 역세권내에서 토지이용이 균형화될수록 도보가 승용차와 대중교통에 비하여, 대중교통이 승용차에 비하여 경쟁력을 높일 수 있는 것으로 분석하였다.

김진·이민석(2010)은 지하철 이용수요와 역세권 도시구조 특성과의 관계를 회귀모형을 통해 분석하였으며, 서울시의 경우 역세권 내 업무와 상업용도 개발용량이 증가할수록 대중교통이용률도 함께 증가하는 것을 확인하였다. 또한, 고밀개

발 및 토지이용의 혼합, 도시설계요소, 도시계획적 공공 공간 조성이 대중교통 이용을 유도하는데 일정부분 효과가 있음을 실증하였다.

문영일·노정현(2011)은 서울시 역세권을 대상으로 다양한 TOD 영향 요인을 파악하였으며, 요인분석을 통해 대중교통 이용수요에 미치는 주요 영향요인으로 토지이용 복합도, 개발밀도수준, 대중교통시설 공급수준, 가로설계수준, 연계교통시설 및 대중교통 운영수준을 제시하였다. 특히 요인-회귀분석을 통해 역세권 승하차 인원에게 긍정적인 영향을 미치는 주요 요인으로 토지이용 복합도, 대중교통시설 공급수준, 개발밀도수준 등을 도출하였다.

손동욱·김진(2011)은 서울시 및 경기도의 지하철 역세권 도시공간특성과 이용수요와의 상관관계 분석을 통해 경기도 주거중심 역세권을 제외한 모든 역세권에서 개발밀도가 높을수록 지하철 이용이 많은 것을 실증하였고, 특히 서울시의 경우 주거 대비 업무와 상업비율이 지하철 이용수요와 양(+)의 상관관계가 있음을 제시하였다.

어유라·강명구(2011)는 지난 10년 동안 수도권에 개통된 광역전철역 40개를 대상으로 실제 이용객수와 수요예측 간 차이가 나는 원인을 탐색한 결과, 주변 토지이용의 유형과 종차역 여부에 따라 수요 실현율에 차이가 난다는 것을 확인하였다. 따라서 향후 수요예측에서는 역세권 주변 입지특성을 고려한 수요예측 방법의 개발 필요성을 강조하였다.

송재인 외(2011)는 기존의 통행발생 모형에서 설명 변수로 사용되는 인구수, 종사자수, 취업자수, 학생수, 자동차대수 외에 토지이용 변수를 추가하여 수요예측 회귀모형을 구축한 후 기존 모형과 새로운 모형의 RMSE 값을 비교 분석하였다.

그 결과 기존 모형은 주거특성이 강한 지역의 수요 추정에서는 오차범위가 작으나 2·3차 산업비중이 높은 지역에서는 설명력이 떨어지는 것을 확인하였고, 통행목적별로 각각 구축된 모형이 전반적으로 기존 모형보다 오차가 작은 것을 확인하였다.

오영택 외(2009)는 대중교통 지향형 역세권 개발을 위해 토지 및 교통 측면의 공급과 수요관련 변수들을 이용하여 주거 및 비주거지역 역세권 유형별로 영향 모형을 개발하여 대중교통 수요에 영향을 미치는 인자를 도출하였다. 이 연구에 의하면 주거, 비주거 등 토지이용 특성에 따라 대중교통 이용자의 통행패턴이 상이한 것으로 나타났으며, 대중교통 이용수요는 주거지역의 경우 환승거리, 정류장수, 버스노선수 등 버스시설 공급수준에 많은 영향을 받고 비주거지역의 경우 역간거리 등 도시철도와 관련된 운영특성의 공급수준이 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Cevero(2002)는 소비자 선택이론을 활용하여 토지이용 특성과 수단선택 간 관계를 규명하고자 하였는데, 이 연구에 의하면 토지이용의 강도(intensity)와 혼합율(mixture)이 승용차를 이용할지 대중교통을 이용할지의 의사결정에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Dieleman et al.(2002)은 통행 수단선택에 있어 수단과 개인의 특성 뿐만 아니라 주거환경이 많은 영향을 미친다고 하였으며, 특히 대중교통 서비스가 상대적으로 좋은 큰 규모의 도시일수록 자가용 소유가 줄어드는 것을 통계분석을 통해 확인하였다.

Zang(2004)은 보스턴과 홍콩지역을 대상으로 업무, 비업무 통행에 대해 토지이용 특성과 수단선택의 관계를 연구하였는데, 출발지의 토지이용 특성보다는 도착지의 토지이용 특성이 수단 선택에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

<표 1> 역세권 범위설정 연구동향

구분	역세권 설정방법	비고
국내	반경 500m	도시계획법의 지구상세계획 지침
	초중고의 학군, 소생활권(인구 2~3만)	택지개발계획 실무지침
	역간거리 0.8~1.1km, 도보거리 0.8km, 행정구역과 결합하여 약 1km	
	설문집단별 접근시간 분리	김동녕(1986)
	일상의 통근, 통학, 기타 통행목적으로 지하철역을 이용하는 여객의 수요가 발생하는 권역	한봉림(1991)
	역세권 실체를 파악하는 변수로서 통행시간 구성요소, 즉 총 통행시간, 도보시간, 대기시간, 승차시간을 분석의 지표로 설정	손정열(1993)
	토지이용의 영향권, 도시시설유치권	임정희(1998)
	지가상승률에 의한 역세권 범위 설정	박영순 외(2004)
	공동주택의 가격변동에 따른 역세권 범위 설정	최재홍(2005)
	접근거리와 접근시간을 통하여 역세권의 범위를 설정. 핵심역세권은 250m, 도보역세권은 530m, 연계교통권역은 3,000m	윤대식 외(2006)
	도보거리 기준으로 분당신도시 856m, 일산·산본신도시 508m, 평촌신도시 495m	김태호 외(2008)
자전거 역세권 설정. 2.21km~2.54km	이재영 외(2010)	
국외	역세권의 형태를 정방형 또는 장방형으로 설정하고 역사의 등급을 구분하여 360m, 540m, 720m로 설정	오사카(일본)
	정기권 구입자의 거리누적비율 90%이내의 범위	동경(일본)
	600m	볼티모어(미국)
	1,400m	워싱턴(미국)
	도심지역과 비도심지역으로 구분하여 각각 530m, 800m로 설정	로스앤젤레스(미국)
	전철의 정차지점 혹은 역사에서 400m내에 2, 3층의 혼합건물과 복합용도의 간선, 보육시설, 공공용지, 지역쇼핑몰, 업무지원시설, 고용중심지 등을 포함한 보행권	Calthrope의 TOD

주) 자료출처 : 이연수 외(2012)

### III. 분석자료 구축

#### 1. 역세권 설정

역세권의 토지이용과 지하철역 통행 발생 수요와의 관계 규명을 위해서는 역세권의 공간적 범위를 우선 설정할 필요가 있다.

역세권이란 철도역을 중심으로 토지이용이 변하게 되고, 이에 역의 지배력이 미치는 하나의 범역을 형성하게 되는데 이를 “역세권”이라 한다. 서울시에서는 역세권을 지하철의 이용객 증진, 역을 중심으로 한 일상생활의 중심지 형성을 위해 “보행자의 접근성”과 “토지이용” 측면에서 영향

을 받는 범위라고 정의하여 도시계획적 관점에서 설명하고 있다(이연수 외, 2012).

보행권을 기준으로 하여 역세권을 분석한 다수의 연구들에서는 400m~600m 정도를 적정한 역세권의 공간적 범위로 보고 있으므로(손동욱·김진, 2011), 본 연구에서는 역세권의 공간적 범위로 도시계획법의 지구상세계획 지침에서 제시하고 있는 반경 500m를 사용하였다.

서울시의 도시철도 역간 평균거리가 약 1,100m임을 감안할 때 수요예측을 위한 역세권의 범위로 500m가 무리가 없을 것으로 판단되나, 역세권의 범위 설정에 따른 제반 효과분석은 본 연구와는 별도로 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

〈표 2〉 구축 자료 설명

구분	자료명	설명	
수요	수송실적	도시철도 1~9호선, 광역철도 및 공항철도 (출처 : 기관별 수송실적 자료, 2010)	
설명 변수	사회 경제 지표	인구수	역세권내 거주 인구수
		종사자수	역세권내 종사자수
	토지 이용 특성	LUM	토지이용다양성지수 ( $-\sum_i p_i \ln p_i / \ln n$ , $p_i$ : 용도 $i$ 면적비율, $n$ : 용도 수)
		주거면적	역세권내 주거가 차지하는 건축물 연면적 (m <sup>2</sup> )
		업무면적	역세권내 업무가 차지하는 건축물 연면적 (m <sup>2</sup> )
		상업면적	역세권내 상업이 차지하는 건축물 연면적 (m <sup>2</sup> )
		기타면적	역세권내 주거, 업무, 상업외 용도가 차지하는 건축물 연면적 (m <sup>2</sup> )
	노선·역 특성	노선연장	노선의 총 연장(km)
		노선 환승역수	노선의 환승역 총 수
		역별 환승노선수	환승이 가능한 노선의 수
기타	역별 운행객차수	일일 총 운행객차수 (일일 총 차량 운행횟수 * 차량 1편성당 객차수)	
	역밀도	해당 역이 위치한 행정동의 역밀도로서 인구 만명당 역 수	
	유동인구	역세권내 유동인구 수 (출처 : 서울시 지능형 도시정보 시스템)	

## 2. 자료구축

도시철도 통행 발생 예측 모형 구축을 위해 역세권의 사회경제지표, 토지이용 특성, 지하철 노선 및 역 특성, 노선별 수송실적 자료 등을 수집하였다. 모형의 설명 변수로 사용되는 역세권의 사회경제지표로는 인구수, 종사자수를 활용하였고, 토지이용 특성으로는 각 역세권의 토지이용다양성지수(LUM) 및 용도별 면적을 사용하였다. 지하철 노선 및 역 특성으로는 노선 연장, 환승역수, 역별 환승노선수 및 역별 운행객차수를 사용하였고, 기타 설명변수로는 역세권별 유동인구수 및 역밀도를 활용하였다.

도시철도 수송실적자료는 지하철 1~9호선, 광역철도 및 공항철도의 서울시내 소재 총 268개 역을 대상으로 각 운영기관의 2010년 자료를 활용하였다. 토지이용 특성자료는 서울시 GIS정보를 기반으로 역세권 내 건축물코드를 추출하고 이를 2010년 서울시 건축물과세대장과 매칭하여 각 역

세권의 용도별 토지이용 연면적을 추출하였다. 또 추출된 용도별 연면적을 이용하여 역세권의 토지이용다양성지수(LUM)를 산출하였다.

## IV. 분석 절차 및 모형 구조

### 1. 분석 절차

서울시내 268개 역중 서울시 지능형 도시정보 시스템으로부터 유동인구 자료 확보가 불가능한 역과 이상점(Outlier)으로 판단되는 역을 제외한 총 220개 역세권의 자료를 분석에 사용하였다. 이상점 제거는 모형 파라미터 추정의 왜곡을 최소화하기 위한 것으로 각 역세권별 발생수요와 사회경제지표, 토지이용 특성 및 노선·역특성 등 세부 변수와의 관계를 직접 그래프로 나타낸 후 이상점 여부를 판단하였다. 이상점 등이 제거된 자료를 기반으로 통행 발생 모형식의 형태를 결정하였고, 역세권 토지이용 특성 변수와 유동인구, 역밀도를

사용하여 군집분석을 실시함으로써 역세권을 2개의 군집으로 나누었다.

통행 발생 모형의 파라미터는 지하철 9호선을 제외한 207개 역의 자료를 이용하여 군집을 나누지 않았을 경우와 나누었을 경우의 각각에 대하여 다변량 비선형 회귀분석을 통해 추정하였다.

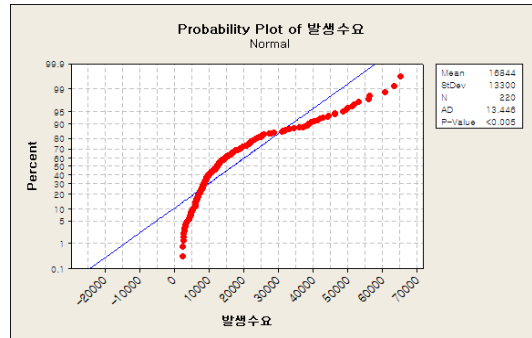
또한 군집을 나누지 않은 모형(이하 통합모형)의 추정 결과와 군집을 나누는 모형(이하 군집모형)의 추정 결과를 각각 비교·분석하였고, 추정된 모형의 적합성 검증을 위해 회귀식 오차항의 이분산성 검정을 실시하였다. 마지막으로 추정된 모형의 평가를 위해 서울시 지하철 9호선을 대상으로 역별 수요를 예측하고, 그 결과를 9호선 민자협상 당시 예측된 역별 수요와 비교하였다.

## 2. 통행 발생 모형식

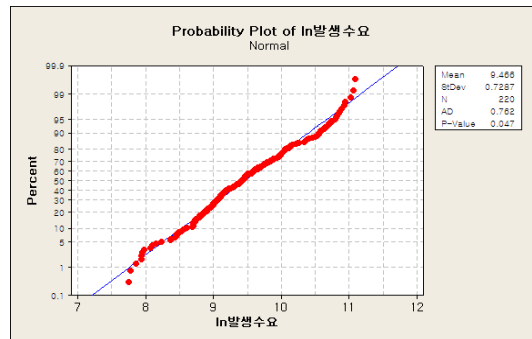
선형 회귀분석의 기본 전제사항인 오차의 독립성 및 정규성 만족을 위해 종속 변수의 정규성이 우선 전제되어야 한다. 그러나 모형의 종속 변수인 220개 역의 발생수요 자료의 정규성을 검정한 결과 <그림 1>에서 보는 바와 같이 정규성을 만족하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 종속 변수의 로그변환 값을 사용하여 회귀식을 추정하였다. 로그변환된 종속 변수의 정규성은 <그림 2>에서 보는 바와 같이 신뢰 수준 90%에서 정규성이 있음을 알 수 있다.

설명 변수의 경우 0~1의 값을 갖는 토지이용 다양성지수(LUM), 역밀도 및 이산형 변수인 역별 환승노선수를 제외한 나머지 변수의 값은 로그 변환된 종속 변수 값의 스케일과 추정된 계수 해석의 용이성을 고려하여 로그변환한 후 회귀식을

추정하였다.



<그림 1> 발생수요의 정규성



<그림 2> 로그 변환된 발생수요의 정규성

따라서 본 논문에서 사용되는 회귀식의 형태는 다음과 같다.

$$\ln y = \alpha_0 + \alpha_1 \ln x_1 + \dots + \alpha_k \ln x_k + \alpha_{k+1} x_{k+1} + \dots + \alpha_n x_n + \epsilon, \quad \epsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

여기서,  $y$ 는 발생수요,  $x_1 \sim x_k$ 는 각각 인구수, 종사자수, 유동인구수, 주거면적, 업무면적, 상업면적, 기타면적, 노선연장, 노선 환승역수, 역별 운행객차수를 나타내며,  $x_{k+1} \sim x_n$ 은 각각 LUM, 역밀도 및 역별 환승노선수를 나타낸다.

1) 지하철 9호선 자료는 추정된 모형의 평가를 위해 제외됨.

식 (1)로부터 역별 통행수요 추정식은 식 (2)와 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\hat{y} = e^{\alpha_0} x_1^{\alpha_1} \cdots x_k^{\alpha_k} e^{(\alpha_{k+1}x_{k+1} + \cdots + \alpha_n x_n)} \quad (2)$$

### 3. 군집분석(Cluster Analysis)

220개 역의 역세권을 토지이용, 유동인구 및 역밀도 차원에서 동질한 그룹으로 나누기 위해 군집분석을 실시하였다. 군집분석은 모든 관측값을 표준화한 후 Ward의 최소분산법(Ward's minimum variance method)을 사용하여 수행하였으며, 유사도(similarity)를 기준으로 관측값을 계층적으로 분류한 수상도(dendrogram)를 바탕으로 크게 2개의 군집으로 나누었다.

분류된 군집의 특성을 살펴보면, <표 3>에서 보는 바와 같이 군집1은 유동인구가 많고 역밀도가 높으며 토지이용의 다양성이 크고, 특히 업무와 상업이 중심이 된 지역임을 알 수 있고, 군집2는 상대적으로 유동인구가 적고 역밀도도 높지 않은 주거지역 중심 지역인 것을 알 수 있다.

군집분석 결과 분석대상인 220개 역 중 109개 역은 군집1에 속하고, 나머지 111개 역은 군집2에 속하는 것으로 나타났다.

<표 3> 군집의 중심점 (Centroid)

변수	군집1 (109개 역)	군집2 (111개 역)
유동인구	<b>0.478623</b>	-0.419259
역밀도	<b>0.276001</b>	-0.241768
LUM	<b>0.813536</b>	-0.712632
주거면적	-0.324602	<b>0.284341</b>
업무면적	<b>0.525335</b>	-0.460177
상업면적	<b>0.686707</b>	-0.601534
기타면적	<b>0.590678</b>	-0.517416

## V. 모형의 추정

지하철 9호선을 제외한 207개 역별 자료를 기반으로 군집을 나누지 않고 식 (1)의 회귀모형 계수를 추정한 결과는 <표 4>와 같고, 역세권 토지이용 특성에 따라 군집을 나누었을 때 식 (1)의 회귀모형 계수를 추정한 결과는 각각 <표 6> 및 <표 7>과 같다. 이 때 각각의 회귀모형에 포함되는 유의한 변수 선택은 95% 신뢰수준에서 후진제거 방식을 사용하였다(모형의 계수 추정 및 변수 선택은 SPSS 통계소프트웨어를 사용함).

### 1. 통합모형

<표 4>에서 보는 바와 같이 군집을 나누지 않은 회귀모형의 경우 95% 신뢰수준에서 유의성이 있는 설명 변수는 유동인구, 역밀도, LUM, 업무면적, 상업면적, 환승노선수 및 운행객차수로 나타났다. Adjusted-R<sup>2</sup>는 0.726으로 나타났다. 회귀모형의 적합성을 나타내는 F 통계량은 79.022로 신뢰수준 95%에서 회귀식이 유의한 것으로 나타났다. 설명 변수별 분산팽창요인(VIF)은 모두 10 이하로 설명 변수 간 다중공선성 문제는 없는 것으로 나타났다. 또한, 모형의 잔차 자기상관을 나타내는 Durbin-Watson 통계량은 2.220으로 회귀분석의 기본 가정인 잔차의 독립성도 만족하는 것으로 나타났다.

그러나, Breusch-Pargan LM  $\chi^2$  통계량은 15.39로 신뢰수준 95%에서 잔차의 이분산성(heteroscedasticity)이 존재하는 것으로 나타났다. 이는 서울시내 소재한 역의 위치에 따라 발생수요 잔차 분포의 분산이 서로 다르다는 것을 의미하며, 회귀분석의 기본 가정인 잔차의 동분산성

(homoscedasticity)에 위배되므로 추정된 회귀식 계수는 최량선형불편추정량(BLUE)이 되지 못한다.

〈표 4〉 통합모형 회귀분석 결과

설명변수	계수	표준오차	t-값	p-값	VF
(상수)	-3.305	0.725	-4.559	0.000	-
ln(유동인구)	0.322	0.060	5.322	0.000	1.519
역밀도	-0.580	0.138	-4.200	0.000	1.203
LUM	-0.596	0.234	-2.548	0.012	2.503
ln(업무면적)	0.182	0.046	4.008	0.000	2.686
ln(상업면적)	0.408	0.059	6.895	0.000	2.520
환승노선수	0.235	0.065	3.604	0.000	1.601
ln(운행객차수)	0.376	0.060	6.212	0.000	1.735

- R<sup>2</sup> : 0.735, Adjusted-R<sup>2</sup> : 0.726
- F-값 : 79.022 (p-값 : 0.000)
- Durbin-Watson 통계량 : 2.220
- Breusch-Pargan LM  $\chi^2$  통계량 : 15.39 (p-값 : 0.031)
- 잔차의 표준편차 : 0.358

이러한 잔차의 이분산성을 고려하기 위해 White 추정량(White's estimator)을 이용, 추정된 계수에 대해 조정된 표준오차 및 t-값을 계산하여 살펴볼 필요가 있다. 〈표 5〉는 〈표 4〉의 추정된 계수에 대해 조정된 표준오차 및 t-값을 나타낸다.

〈표 5〉의 계수에 대한 t-값과 p-값을 기준으로 볼 때, 잔차의 이분산성을 감안하여도 추정된 계수가 신뢰수준 95%에서 모두 유의한 것으로 나타나 추정된 회귀모형이 적합함을 알 수 있다.

통합모형의 계수 추정값을 살펴보면 유동인구, 업무면적, 상업면적, 환승노선수 및 운행객차수가 발생 수요에 양(+)의 영향을 미치는 반면 역밀도와 토지이용 다양성(LUM)은 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 역밀도의 경우 이용 가능한 역이 주변에 많을수록 수요가 여러 역으로 분산되어 역별 수요가 작게 나타나는 것을 추론해

볼 수 있으나, 토지이용 다양성의 경우는 일반적인 기대와는 달리 역세권의 토지이용이 다양할수록 낮은 수요를 유발하는 것으로 나타나 향후 그 원인에 대한 심도 있는 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

〈표 5〉 계수 추정값에 대한 조정 표준오차 및 t-값

설명변수	계수	표준오차	t-값	p-값
(상수)	-3.305	0.791	-4.177	0.000
ln(유동인구)	0.322	0.064	5.023	0.000
역밀도	-0.580	0.148	-3.925	0.001
LUM	-0.596	0.216	-2.756	0.006
ln(업무면적)	0.182	0.042	4.300	0.000
ln(상업면적)	0.408	0.063	6.457	0.000
환승노선수	0.235	0.085	2.764	0.006
ln(운행객차수)	0.376	0.072	5.191	0.000

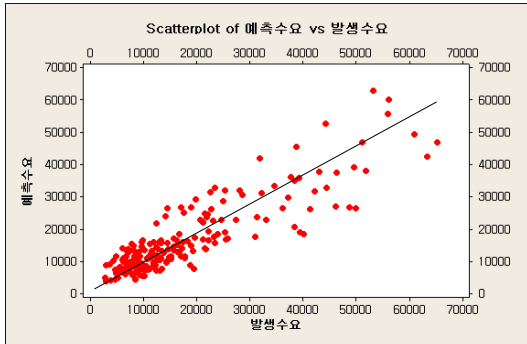
한편, 용도별 토지이용 면적과 수요와의 관계를 살펴보면, 주거면적과 기타면적의 경우 추정 계수가 신뢰수준 95%에서 유의하지 않은 것으로 나타난 반면, 업무면적과 상업면적은 그 크기가 클수록 높은 수요를 발생시키는 것으로 나타났다. 특히 상업면적에 대한 수요의 탄력성<sup>2)</sup>이 업무면적에 대한 수요의 탄력성보다 약 2.24배 높은 것으로 나타나 토지이용 측면에서 역세권의 상업면적의 크기가 도시철도 수요에 가장 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

지하철 노선·역 특성 변수의 경우 노선연장과 노선의 환승역수는 신뢰수준 95%에서 유의하지 않은 것으로 나타난 반면, 환승노선수와 운행객차수는 수요에 직접적으로 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 환승 노선이 많은 환승역일수록 일 반역에 비해 수요 유인력이 크다고 할 수 있다.

2) 식 (1)의 회귀식에서 로그변환된 설명변수의 계수는 해당 설명변수에 대한 종속변수의 탄력성을 의미함.



〈그림 3〉은 역별 실제 발생 수요와 통합모형을 통해 산출된 예측수요의 산포도를 나타낸다.



〈그림 3〉 통합모형 예측수요와 실제 발생수요

## 2. 군집모형

용도별 토지이용 면적 등 역세권 토지이용 특성에 따라 나눈 업무·상업 중심지역(군집1)과 주거중심 지역(군집2)의 자료를 각각 이용하여 식 (1)의 회귀모형 계수를 추정한 결과는 〈표 6〉 및 〈표 7〉과 같고, 이들 모형을 통해 얻은 예측수요와 실제 발생수요 산포도는 〈그림 4〉 및 〈그림 5〉와 같다.

군집1의 경우 〈표 2〉의 13개 설명 변수 중 신뢰수준 95%에서 유의한 변수는 업무면적, 상업면적, 운행객차수, 유동인구 및 역밀도로 나타났으며 Adjusted-R<sup>2</sup>는 0.731로 모형의 설명력이 우수한 것으로 나타났다. 또한, 각종 통계량을 살펴보면, 모형의 적합성, 설명 변수 간 다중공선성, 잔차의 독립성 및 동분산성에 있어 모두 문제가 없는 것으로 나타났다.

군집2의 경우에는 신뢰수준 95%에서 유의한 변수는 업무면적, 상업면적, 환승노선수, 운행객차수, 역밀도 및 유동인구이며, Adjusted-R<sup>2</sup>는 0.509로 다소 낮게 나타난 반면, 모형의 적합성, 설명변

수 간 다중공선성, 잔차의 독립성 및 동분산성에 있어서는 문제가 없는 것으로 나타났다.

〈표 6〉 군집1 모형 회귀분석 결과

설명변수	계수	표준오차	t-값	p-값	VIF
(상수)	-6.698	1.082	-6.189	0.000	-
ln(유동인구)	0.383	0.084	4.549	0.000	1.244
역밀도	-0.523	0.146	-3.591	0.001	1.206
ln(업무면적)	0.111	0.055	2.025	0.046	1.297
ln(상업면적)	0.564	0.089	6.330	0.000	1.543
ln(운행객차수)	0.528	0.064	8.206	0.000	1.217

- R<sup>2</sup> : 0.744, Adjusted-R<sup>2</sup> : 0.731
- F-값 : 56.977 (p-값 : 0.000)
- Durbin-Watson 통계량 : 2.279
- Breusch-Pargan LM  $\chi^2$  통계량 : 6.04 (p-값 : 0.303)
- 잔차의 표준편차 : 0.338

〈표 7〉 군집2 모형 회귀분석 결과

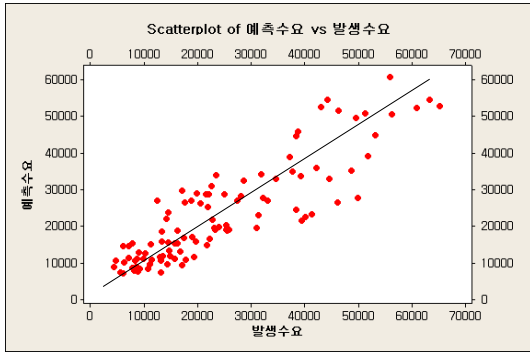
설명변수	계수	표준오차	t-값	p-값	VIF
(상수)	-0.630	1.257	-0.501	0.618	-
ln(유동인구)	0.237	0.082	2.897	0.005	1.207
역밀도	-0.964	0.363	-2.658	0.009	1.012
ln(업무면적)	0.249	0.073	3.408	0.001	1.902
ln(상업면적)	0.300	0.079	3.824	0.000	1.335
환승노선수	0.533	0.105	5.098	0.000	1.176
ln(운행객차수)	0.221	0.087	2.536	0.013	1.217

- R<sup>2</sup> : 0.538, Adjusted-R<sup>2</sup> : 0.509
- F-값 : 18.647 (p-값 : 0.000)
- Durbin-Watson 통계량 : 1.947
- Breusch-Pargan LM  $\chi^2$  통계량 : 10.04 (p-값 : 0.123)
- 잔차의 표준편차 : 0.333

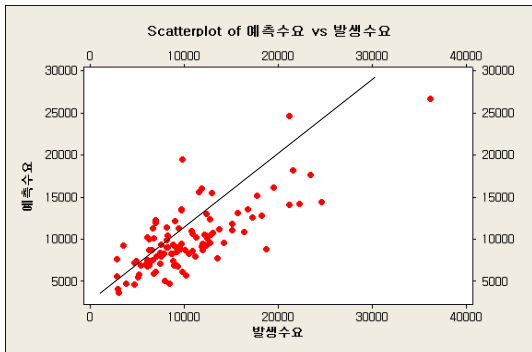
특히, 통합모형에서 나타났던 잔차의 이분산성 문제는 역세권의 토지이용 특성에 따라 분석대상 역들을 군집으로 나누었을 때 모두 사라지는 것으로 나타나 군집모형이 통합모형에 비해 보다 더 합리적인 것으로 판단된다.

업무·상업중심의 군집1의 경우 통합모형과는 달리 신뢰수준 95%에서 LUM과 환승노선수가 유의하지 않은 것으로 나타난 반면 주거중심의 군

집2는 신뢰수준 95%에서 LUM이 유의하지 않은 것으로 나타났다.



〈그림 4〉 군집1 모형의 예측수요와 실제 발생수요



〈그림 5〉 군집2 모형의 예측수요와 실제 발생수요

군집1의 경우 상업면적과 운행객차수에 대한 수요의 탄력성이 매우 높은 것으로 나타났으며, 특히 상업면적에 대한 수요의 탄력성이 업무면적보다 매우 크다는 것을 알 수 있다.

군집2의 경우는 업무면적과 상업면적에 대한 수요의 탄력성이 유사하게 나타나고 있으며, 역밀도와 환승노선수가 수요에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 주거면적은 신뢰수준 95%에서 발생 수요에 유의미한 영향을 못 미치는 것으로 나타났는데, 실제로 주거면적과 발생 수요의 상관관계수는 0.383으로 매우 낮은 것으로 나타났다.

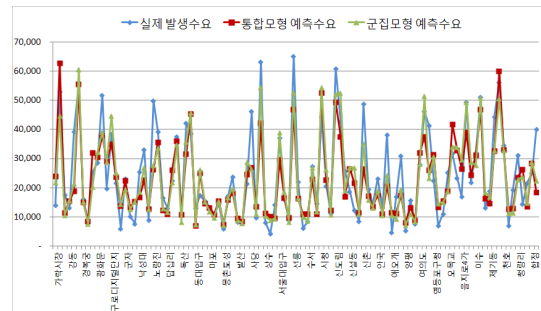
앞서 추정된 모형들의 계수를 비교해 보면, 〈표 8〉에서 보는 바와 같이 군집을 나누지 않은 통합 모형에서는 역밀도, LUM, 상업면적, 운행객차수가 수요에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있고, 업무·상업중심의 군집1에서는 유동인구, 역밀도, 업무면적 및 상업면적이, 주거중심의 군집2에서는 역밀도, 환승노선수가 상대적으로 수요에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

〈표 8〉 통합모형 및 군집모형의 계수 비교

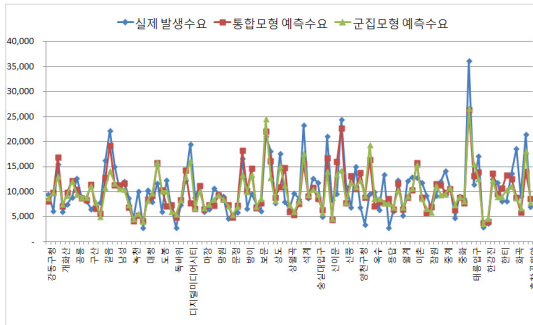
설명변수	통합모형	군집1 모형	군집2 모형
(상수)	-3.305	-6.698	-0.630
ln(유동인구)	0.322	0.383	0.237
역밀도	-0.580	-0.523	-0.964
LUM	-0.596	*	*
ln(업무면적)	0.182	0.111	0.249
ln(상업면적)	0.408	0.564	0.300
환승노선수	0.235	*	0.533
ln(운행객차수)	0.376	0.528	0.221
· Adjusted-R <sup>2</sup>	0.726	0.731	0.509
· 잔차 표준편차	0.358	0.338	0.333

주) \* 신뢰수준 95%에서 유의하지 않음

〈그림 6〉과 〈그림 7〉은 군집1과 군집2에 속하는 역들을 대상으로 실측된 발생 수요와 본 연구의 통합모형 및 군집모형을 통해 예측된 수요를 비교한 그래프이다.



〈그림 6〉 군집1 대상 수요 비교



〈그림 7〉 군집2 대상 수요 비교

### VI. 모형의 평가

본 논문에서는 서울시 지하철 9호선을 대상으로 역별 실제 발생 수요와 V장에서 추정된 모형을 통한 예측수요, 그리고 지하철 9호선 민자협상 시 제시된 수요를 각각 비교하여 구축된 모형의 적합성을 평가하였다. 다만, 본 연구는 토지이용 특성을 감안하여 역세권의 도시철도 총 발생 수요

를 예측한 반면, 지하철 9호선 민자협상에서 제시된 수요는 서울시 행정동 기반의 발생·도착량을 이용하여 해당노선의 순승차수요만을 예측하였기 때문에 환승역에 대해서는 직접적인 수요 비교를 할 수 없어 일반역을 대상으로 하였다.

〈표 9〉의 지하철 9호선 일반역을 대상으로 예측수요 비교 결과를 살펴보면, 4단계 기법에 의한 민자협상 예측 수요에 비해 본 연구의 토지이용 특성을 고려한 통합모형 또는 군집모형 예측 수요가 총수요 및 역별 수요 패턴 등에 있어 실제 발생 수요를 더 잘 설명해 주는 것으로 나타났다. 그러나 사평, 신반포, 구반포, 공항시장 등 실제 발생수요가 비교적 적은 역의 경우 예측 오차가 크게 나타나 본 연구에서 고려하지 못한 버스 노선수 등 추가적인 설명 변수를 포함하여 모형의 예측력을 높이는 연구가 향후 필요할 것으로 판단된다.

통행발생-통행분포-수단분담-통행배정의 4단계

〈표 9〉 서울시 지하철 9호선 예측수요 비교 (2010년 기준)

역명	실제		예측수요			차이(%)		
	발생수요	통합모형	군집모형	민자협상*	통합모형	군집모형	민자협상	
신논현	20,724	13,171	13,484	4,852	-36.4%	-34.9%	-76.6%	
사평	2,585	4,080	4,679	5,715	57.8%	81.0%	121.1%	
신반포	2,577	3,892	4,445	5,276	51.0%	72.5%	104.7%	
구반포	2,323	5,094	6,105	3,417	119.3%	162.8%	47.1%	
후석	7,975	9,513	7,640	14,221	19.3%	-4.2%	78.3%	
노들	3,204	3,951	5,014	8,471	23.3%	56.5%	164.4%	
국회의사당	13,226	14,213	10,635	9,512	7.5%	-19.6%	-28.1%	
선유도	4,332	5,870	4,587	10,593	35.5%	5.9%	144.5%	
신목동	3,295	2,989	4,337	5,947	-9.3%	31.6%	80.5%	
염창	8,383	6,415	7,211	12,123	-23.5%	-14.0%	44.6%	
등촌	7,362	6,896	7,891	12,033	-6.3%	7.2%	63.4%	
증미	5,194	7,472	8,525	7,772	43.9%	64.1%	49.6%	
가양	14,945	5,822	6,949	13,863	-61.0%	-53.5%	-7.2%	
양천향교	4,772	6,295	4,684	9,516	31.9%	-1.8%	99.4%	
신방화	4,293	2,875	3,979	4,842	-33.0%	-7.3%	12.8%	
공항시장	2,394	6,058	7,456	6,349	153.1%	211.4%	165.2%	
개화	1,640	521	1,117	1,304	-68.3%	-31.9%	-20.5%	
합 계	109,224	105,126	108,738	135,806	-3.8%	-0.4%	24.3%	

주) \* 서울시 내부자료(서울시 지하철9호선 1단계구간 민자 협상결과보고서, 2004)

를 거치는 수요예측 기법은 계획 노선의 수요특성(역별 승하차인원, 재차인원, 환승인원 등)을 세부적으로 파악할 수 있는 장점이 있으나 여러 단계를 거치면서 오차가 증폭될 수 있고, 설정된 존의 크기 및 존 센트로이드와 역을 연결하는 방식 등에 따라 역별 수요 패턴이 달라질 수 있는 단점을 내재하고 있다. 반면, 본 연구의 모형은 토지이용 특성을 고려하여 역세권의 도시철도 발생수요를 직접 예측할 수 있는 이점은 있으나 역별 세부 수요 특성을 파악할 수 없는 한계가 있으므로, 향후 4단계 기법을 이용한 수요예측 결과를 토지이용 측면에서 검증하고 보완하는 도구로 사용되어 수요예측의 정밀도를 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

4단계 수요 예측의 정밀도를 높이는 또 다른 방법으로는 1단계 존별 통행 발생량 추정시 인구수, 학생수, 종사자수 등 사회경제지표 외에 용도별 토지이용 면적, 토지이용 다양성 지수 등 역세권 토지이용 특성 지표를 포함시키는 것을 생각해 볼 수 있을 것이다.

## Ⅶ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 서울시내에서 운행되는 도시철도 및 광역철도의 수송실적과 역세권의 토지이용 특성 및 노선·역 특성 자료 등을 기반으로 군집분석과 회귀분석을 이용하여 수송수요에 영향을 미치는 인자를 도출하고, 역세권의 도시철도 수요를 직접 예측할 수 있는 모형을 구축하였다. 또한, 지하철 9호선을 대상으로 구축된 모형의 적합성을 평가하고 모형의 활용성을 논하였다. 그 결과 본 연구에서 얻은 성과 및 시사점은 다음과 같다.

첫째, 도시철도 발생 수요에 영향을 미치는 다

양한 인자들 중에서 역세권의 업무면적과 상업면적의 크기, 유동인구수, 환승노선수 및 운행객차수가 양(+의 영향을 미치는 것으로 나타났고, 역밀도와 역세권 토지이용 다양성(LUM)은 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 토지이용다양성의 경우 일반적인 기대와는 달리 역세권의 토지이용이 다양할수록 낮은 수요를 유발하는 것으로 나타나 그 원인에 대한 향후 심도 있는 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 업무·상업중심 지역에서는 상업면적에 대한 수요의 탄력성이 업무면적에 대한 수요의 탄력성보다 월등히 높아 토지이용 측면에서 상업면적이 도시철도 수요를 끌어내는 가장 큰 요인인 것으로 나타났다. 반면, 주거중심 지역에서는 업무면적 및 상업면적 크기에 대한 수요의 탄력성은 비슷한 것으로 나타났으며, 주거면적은 도시철도 수요와 상관관계가 크지 않은 것으로 나타났다.

셋째, 토지이용과 노선·역 특성을 함께 고려하였을 경우, 업무·상업중심 지역에서는 유동인구수, 역밀도, 업무 및 상업면적이 수요에 큰 영향을 미치는 반면 주거중심 지역에서는 역밀도, 환승노선수, 운행객차수가 상대적으로 수요에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 역세권 특성에 따라 수요에 영향을 주는 인자가 서로 다른 것을 알 수 있다.

넷째, 서울시 지하철 9호선을 대상으로 본 연구의 모형과 민자협상시 예측수요를 실제 발생수요와 비교한 결과, 역세권 토지이용을 고려한 예측수요가 비교적 우수한 것으로 나타나 향후 도시철도 수요예측시 역세권 토지이용도 반드시 함께 고려할 필요가 있다.

이러한 측면에서, 역세권 토지이용을 고려한 본 연구의 모형은 인구, 종사자, 학생수, 자동차등록대수 등 사회경제지표를 기반으로 하는 4단계 수

요예측 결과를 검증하고 보완하기 위한 하나의 도구로 사용되어 예측의 정확도 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 자료구득의 어려움 등으로 인해 본 연구에서 다루지 못한 다양한 수요 영향요인들에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 전통적인 4단계 기법을 통한 수요예측결과를 토지이용 측면에서 세부적으로 어떻게 검증하고 보완할지에 대한 구체적인 방법론 등에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

**참고문헌** \_\_\_\_\_

김대웅 · 박철구 · 최한규 · 이진욱, 2004, “역세권 특성을 고려한 도시철도 수송수요 예측모형 구축”, 『대한토목학회논문집』, 24(6D): 863~872.

김진 · 이민석, 2010, “지하철 이용수요와 역세권도시구조 특성과의 관계분석연구: 수도권 역세권 지역을 중심으로”, 『대한건축학회논문집』, 26(10): 305~312.

문영일 · 노정현, 2011, “서울시 역세권의 TOD환경과 대중교통이용수요 관계분석”, 『한국도로학회 논문집』, 13(4): 211~220.

서울메트로, 2010, 『서울메트로 수송계획』.

서울특별시, 2008, 『서울특별시 10개년 도시철도 기본계획』.

서울특별시도시철도공사, 2010, 『도시철도공사 수송계획』.

성현근 · 노정현 · 김태현 · 박지형, 2006, “고밀도시에서의 토지이용이 통행패턴에 미치는 영향”, 『국토계획』, 41(4): 59~75.

손동욱 · 김진, 2011, “수도권의 역세권 도시공간특성과 지하철 이용수요 간 상관관계 분석”, 『대한건축학회 논문집』, 27(6): 177~184.

송재인 · 나승원 · 추상호, 2011, “토지이용 특성을 반영한 통행발생모형 추정 연구”, 『한국ITS학회논문지』, 10(6): 126~139.

어유라 · 강명구, 2011, “전철역 입지특성이 예측된 수요와 실제 수요 간의 차이에 미치는 영향에 관한 탐색적 연구”, 『대한토목학회논문집』, 31(1D): 133~139.

오영택 · 김태호 · 박제진 · 노정현, 2009, “토지이용유형별 서울시 역세권 대중교통 이용수요 영향인자 실증분석”, 『대한토목학회논문집』, 29(4D): 467~472.

이연수 · 추상호 · 강준모, 2012, “서울시 지하철 역세권의 공간적 범위 설정과 특성분석”, 『국토계획』, 47(1): 113~128.

한국철도공사, 2010, 『광역철도 수송현황』.

Cevero, R., 2002, “Built Environment and Mode Choice: Toward a Normative Framework”, *Transportation Research D*, 7: 265~284

Dieleman, F. M., Dijst, M., and Burghouwt, G., 2002, “Urban Form and Travel Behaviour: Micro-level Household Attributes and Residential Context”, *Urban Studies*, 39(3): 507~527.

Zang, M., 2004, “The Role of Land Use in Travel Mode Choice: Evidence from Boston and Hong Kong”, *Journal of the American Planning Association*, 70(3): 344~360.

<http://stat.seoul.go.kr/siss>(서울시 지능형 도시정보 시스템)

원 고 접 수 일 : 2013년 7 월 24일  
 1 차 심사 완료일 : 2013년 9 월 2일  
 최종원고채택일 : 2013년 9 월 12일