

소지역단위 사회경제지표를 활용한 경전철 역별 수요분석 방안 연구 - 실증분석 중심으로 -

An Empirical Study of Light Railway Transit Ridership using Socio-economic Data Based on Block Group Level

이광섭* · 엄진기 · 문대섭 · 박 철 · 신종진

Kwang Sub Lee · Jin Ki Eom · Dae Seop Moon · Cheol Park · Jong Jin Shin

Abstract A direct demand model requires relatively little analysis time and incurs a low cost. It is also known to be useful for the preliminary screening of promising configurations or concepts. This study reviews direct demand models of 12 existing urban railways using demographic data based on a block group level which is approximately 1/24 of a traditional zone area. However, direct demand models are limited. Therefore, a new approach is suggested. The proposed method is based on a field study and an empirical analysis. The study finds factors that affect ridership at the station level. As a case study, the proposed approach is tested using 54 light railway transit stations. The results of this empirical study demonstrate its applicability to improve the error rates of the predicted ridership at the station level.

Keywords : Urban railway, Station ridership, Adjustment method, Direct demand model

초 록 직접수요모형은 전통적 4단계 수요예측방법론보다 적은 비용과 시간으로 기본구상단계에 적합한 분석 방법이다. 본 연구에서는 기존 읍면동 기준보다 약 1/24 공간적 크기를 가진 소지역(집계구)단위 사회경제지표를 활용하여 지방 광역권 12개 도시철도 노선을 대상으로 직접수요모형을 구축하여 예측수요를 실적자료와 비교 분석하였다. 하지만 통계적 분석에 의존하는 직접수요모형은 역별 특성을 반영하지 못하여 승차인원 예측에 한계가 있으며 본 연구에서는 승차인원에 영향을 미치는 인자를 찾아내고 각 영향인자들의 표준화 및 기준을 제시하였다. 특히 사회적 이슈가 되고 있는 경전철 노선 54개 역을 대상으로 실증분석하여 역 특성 기초자료 수집, 분석, 보정방안에 대해 논의하였다. 경전철 역을 대상으로 제안된 방안의 적용성을 검토하였고 향후 직접수요모형의 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 도시철도, 역별 수요, 보정방안, 직접수요모형

1. 서 론

전통적 4단계 수요추정방법론은 직관적이고 설명이 용이하다는 장점으로 인해 교통계획에서 가장 널리 사용되고 있는 기법이다. 하지만, 교통존(행정동 단위)별 사회경제지표 자료 수집 및 분석 과정에서, 그리고 교통수단간 분담률 추정 과정에서 예측수요와 수송실적과의 오차가 발생할 수 있으며, 특히 동일 행정동 내에 2개 이상의 역이 존재할 시 도시철도 역별 수요분석 결과에 대한 정확성이 떨어질 우려가 있다[1]. 이를 보완하기 위해 각 단계별 파라미터 보정 및 검증, 분석대상 지역의 존 세분화 등이 필요하며, 이에 따라 분석을 위해 많은 예산과 시간이 요구된다. 이로 인해 Shon 등 [1]은 지하철 수요를 보다 제대로 반영할 수 있는 실증적인 모형 개발의 필요성을 지적하고, 4단계 모형과 같이 단계별로 순차적으로 진행하기보다 이를 하나로 통합한 직접수요모형(Direct demand model)형태를 이용하는 것이 오히려 지하철 수요를 더 정확하게 추정할 수 있다고 강조하였다.

직접수요모형 또는 개략적 수요추정방법론(Sketch planning method)은 기존 4단계 모형 분석방법론에 비해 분석수준의 상세성은 부족하나 분석에 소요되는 비용과 시간을 절감할 수 있다[2]. 즉, 기본구상 단계(Preliminary screening of possible configurations or concepts) 또는 분석해야 할 사업의 대안과 시나리오 수가 다양하며 정교한 수요예측보다는 실효성이 없는 사업의 선별에 유용한 분석방법론이다[2].

이러한 배경하에 본 연구는 도시철도 건설 기본구상 단계 또는 연구개발(R&D)단계에서 중소도시 규모의 도시철도 시스템에 적절한 직접수요모형을 구축하였다. 특히 기존 읍면동 수준의 데이터보다 약 1/24의 공간적 크기를 가진 소지역(집계구)단위의 자료와 실적자료를 바탕으로 분석하였다. 하지만 역 특성을 반영하지 못하는 직접수요모형은 승차인원 예측에 한계가 있으며, 본 연구에서는 실증분석을 통해 경전철역 승차인원에 영향을 미치는 요소를 찾아내고 각 영향요소들의 표준화 및 기준을 포함하여 역 특성을 반영한 보정방안을 제시하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 국내외 선행 연구를 살펴보고 선행 연구와의 차별성을 중심으로 본 연구의 방법론을 제시한다. 3장에서는 국내 지방광역권에서 운영되고 있는 도시철도 노선을 대상으로 직접수요모형을 구축하고 적용성을 검토한다. 4장에서는 직접수요모형의 한계를 극복하기 위해 현장조사 및 실증분석을 바탕으로 역별 승차인원의 영향요소를 파악하고 역 특성 반영 수요예측 방안을 제시하며 적용성을 검토한다. 마지막 장에서 정책적 의미와 연구의 한계에 대해 논의한다.

2. 선행연구 고찰 및 연구방법론

2.1 선행 연구 고찰

직접수요모형 또는 개략적 수요추정모형을 활용한 국내연구는 주로 지역간 철도[3,4], 서울시 지하철 또는 지방 특정 도시철도노선을 대상으로 수행되었다. Shon 등 [1]은 서울시 지하철 2-8호선을 대상으로 직접수요모형 형태의 승차인원 수요예측모형(로지스틱 함수식)을 제시하였다. 토지이용도 및 사회경제활동의 규모와 더불어 지하철역의 특성에 따라 역을 유형별로 분류하였으며 독립 변수로 인구, 종사자수, 학생수, 개통 후 경과 연도 등을 선정하여 분석하였다. Chung 등 [3]은 지역간 비용 및 시간의 철도수요 영향력을 분석하기 위해 경부축 및 호남축의 KTX 이용자를 대상으로 교통수단선택모형과 직접수요모형을 추정하여 비교 분석하였다. 모형에서 활용한 변수는 사회경제지표(인구, 소득, 국민총생산, 자동차 보유대수 등), 철도서비스수준(열차운행 빈도, 운행시간, 운임 등), 경쟁수단의 운임이었다. Kim과 Jung [4]은 사회경제지표와 실적자료를 바탕으로 지역간 철도수요의 직접수요모형(다중회귀분석 모형)을 구축하였다. 상관분석 및 주성분분석을 통해 인구, 경제인구, 사업체수, 자동차대수, 지역간 거리, 해당지역의 면적이 지역간 철도 수요에 상관성이 높은 변수로 나타났다. Kim 등 [5]은 대구시 지하철 1호선을 대상으로 역세권의 특성(용도별 연면적, 버스 서비스교통량, 주차면수, 제조업 및 도소매업 종사자수 등)을 고려한 수송수요 예측모형을 구축하였다. Sung 등 [6]은 서울시 도시철도를 대상으로 역세권(500m)내 토지이용과 도시설계특성이 대중교통이용증대에 미치는 영향을 분석했다. Moon 등 [7]은 서울시 역세권(500m)을 대상으로 TOD(Transit Oriented Development) 영향요인을 파악하고 대중교통 이용객수와의 연관성을 실증 분석했다.

미국의 경우 직접수요모형 구축 및 사례연구가 국내보다 더 활발히 진행되어 왔다. 수요에 미치는 영향요소 4가지(인구·사회·경제 관련 지표, 역 특성 관련 지표, 도시철도 서비스 관련 지표, 토지이용 관련 지표)를 중심으로 미국의 연구사례를 Table 1과 같이 정리하였다. 미국의 사례는 크게 미국 지역 전체에 적용 가능한 모형[8-9,12-14]과 특정지역에 적합한 모형으로 구분할 수 있으며, 도시철도 시스템 또한 중전철, 경전철, LRT, BRT 등 다양하게 분석되었다[8-14]. Table 1에서 ○은 모형구축을 위해 검토된 변수를, ●은 최종모형으로 선택된 변수를 나타낸다. 표에서 볼 수 있듯이 수요에 미치는 영향요소가 도시철도 시스템별 및 적용 지역별로 서로 다른 지표가 선정되었다. 하지만, 국내에선 기초데이터의 자료 한계로 인해 미국의 직접수요모형과 같이 실제 다양한 지표를 활용하기엔 한계가 분명히 있다.

2.2 연구방법론

본 연구의 목적은 도시철도 건설 기본구상 단계 또는 연구개발 초기단계에서 실용적으로 활용 가능한 모형을 구축하고 역별 특성을 반영한 수요추정 보정방안을 제시함에 있다. 이를 위해 비교적 자료취득이 쉽고 자료의 객관성이 보장되는 통계청 소지역 데이터를 활용하여 중소도시 규모의 중전철 및 경전철 시스템에 적합한 직접수요모형을 구축하였다. 소지역 단위 통계는 통계청 통계지리정보서비스에서 무료로 공개되는 자료로써, 인구 약 500명을 기준으로 분류하여 만든 작은 구역을 말한다. 공간적 범위를 비교해보면, 전국 행정동이 총 3,492개인데 비해 소지역은 총 85,421개이며, 소지역은 읍면동 면적의 약 1/24로 세밀하여 도시철도 역별 승차인원 추정에 적합한 공간적 단위이다. 본 연구에서는 도시철도 각 역을 중심으로 300m~500m 반경에 포함된 소지역단위 사회경제지표(인구, 가구, 사업체, 주택 등) 통계를 추출하여 분석을 위한 독립변수로 활용하였다. 즉, GIS를 활용하여 도시철도 역을 중심으로 반경(예, 500m) band를 설정한 후 반경 내에 포함되는 소지역의 사회경제지표 통계를 추출하였으며, band에 걸쳐져 있는 소지역일 경우 해당 소지역 전체면적 대비 반경 내에 포함된 면적의 비율을 산정하여 면적비율에 비례한 사회경제지표 통계를 추출하였다. 만약 동일한 소지역이 두 개 이상의 역 반경 내에 동시에 포함된다면 중복되는 역 수(n)을 고려하여 사회경제지표 통계값의 1/n을 추출함으로써 중복카운팅을 방지하였다.

종속변수로 활용된 도시철도 승차인원은 현재 지방 광역 대도시권에서 운행중인 12개 도시철도 노선의 역별 수송 실적

자료를 활용하였다. 분석대상 12개 노선은 8개 중전철 노선(인천, 광주, 대전, 대구 2개 노선, 부산 3개 노선)과 4개의 경전철 노선(부산4호선, 부산-김해, 의정부, 용인)으로, 총 299개역(중전철역 248개, 경전철역 51개)을 대상으로 분석하였다.

분석에 사용된 기초자료(중전철 역별 승차인원 및 사회경제지표 통계)의 시간적 범위는 2010년 기준이며(본 연구 분석 시 통계청에서 제시하는 소지역단위 통계는 2010년이 최신자료임), 2010년 이후에 개통된 의정부 경전철은 2012년 11월~2013년 10월의 수송 실적자료를, 용인 경전철은 2013년 5월~10월 실적자료를, 부산-김해 경전철은 2013년 1월~12월 실적자료를 각각 활용하였다. 경전철 역의 사회경제지표 통계는 분석기준을 일치시키기 위해 사회경제지표 통계의 연도별 변화(성장률)를 반영하여 분석하였다.

연구의 수행방법은 다음과 같다. 우선 12개 도시철도 노선의 역을 대상으로 직접수요모형을 구축하였다. 이때 중전철과 경전철의 수송실적 차이가 크므로, 중전철과 경전철 모형을 각각 구분하고, 중전철의 경우 지역별로도 수송실적 편차가 나타나므로 지역별 더미변수를 추가하여 분석하였다. 구축된 직접수요모형을 활용하여 예측된 승차인원과 수송 실적자료를 비교하여 적용성을 검토하고 문제점을 논의하였다. 그리고 직접수요모형 적용성의 한계를 극복하기 위해 현장실태조사와 실증분석을 수행하여 경전철 승차인원에 영향을 미치는 요소를 찾아내고 각 영향인자들의 표준화 및 기준설정 등 역 특성을 반영한 수요보정 방안을 제시하였다. 마지막으로, 제안된 보정방안을 경전철 노선에 적용하여 활용가능성을 검토하였다.

선행 연구와 비교할 때 본 연구는 다음과 같은 차별성을 가진다. 첫째, 도시철도 기본구상단계에서 역별 수요예측을 실용적으로 수행할 수 있는 모형을 구축하였다. 선행연구에서는 통계적 분석의 신뢰성을 높이기 위해 사회경제지표 외에 토지이용, 지하철 역세권 특성, 서비스관련 지표 등 다양한 영향요인을 분석하였으나 장래의 다양한 지표(특히 동일한 공간적 단위를 가진 데이터)들에 대한 기초자료를 취득하기 쉽지 않은 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 취득이 용이한 통계청 자료를 활용하고 사회경제지표의 분석단위를 행정정보보다 더 세밀한 소지역 단위의 통계자료를 활용하여 분석의 정밀도를 향상시키고자 하였다. 둘째, 기존 연구에서는 주로 지역간 철도 또는 특정 지하철 노선을 대상으로 분석하였지만, 본 연구에서는 지역별 더미변수를 활용하여 지방 광역권별 특성을 반영하였고, 특히 최근 사회적 이슈가 되고 있는 경전철 노선을 대상으로 역별 승차인원과 역세권의 공간적 특성과의 관계를 실증적으로 분석하였다. 셋째, 회귀모형 등을 활용한 직접수요모형은 노선의 총 승차인원에서는 신뢰성을 가질 수 있으나 각 역별 예측 승차인원은 수송 실적과 비교해 오차율의 편차가 크게 나타나는 문제점이 있다. 따라서 현장실태조사와 실증분석을 통해 수요에 영향을 미치는 영향요인을 실증적으로 밝혀내고 역별 오차율을 개선하여 직접수요모형의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시했다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다.

3. 직접수요모형 구축 및 적용성 검토

도시철도 수요예측을 위한 직접수요모형은 지역별 더미(인천1호선 기준)를 추가한 로그선형회귀모형이다. 종속변수는 일평균 역별 승차인원이며, 독립변수는 300m~500m(50m 단위) 반경의 소지역단위 사회경제지표로 설정하였다. 상관성 분석 결과, 중전철 역의 승차인원에 대한 상관계수는 사업체수(역 반경 450m의 경우 0.676), 종사자수(0.626), 가구수(0.529), 경제활동인구수(0.464), 인구수(0.462), 주택수(0.450) 등의 순으로 나타났다. 경전철 역의 승차인원에 대한 상관계수는 사업체수(역 반경 400m의 경우 0.458), 종사자수(0.396), 가구수(0.297), 인구수(0.287), 경제활동인구수(0.284), 주택수(0.237) 등으로 나타났다. 상관성분석 결과(상관계수)와 회귀분석 결과(각 변수 계수의 부호, 유의성(t-value), R² 값 등)을 검토하여 최종 사회경제지표 및 영향권 반경을 결정하였다. 중전철 회귀모형은 식(1)에 나타나 있으며 독립변수는 450m 반경의 가구 및 사업체 변수이다. 경전철 회귀모형은 식(2)와 같으며 독립변수는 400m 반경의 가구 및 사업체 변수이다. 모형의 회귀분석 결과는 Table2 및 Table3에 각각 정리되어 있다.

$$\ln(HRT_k) = a + b_1 \ln(HH_{kj}) + b_2 \ln(BIZ_{kj}) + D_1 + D_2 + D_3 + D_4 \quad (1)$$

$$\ln(LRT_k) = a + b_1 \ln(HH_{kj}) + b_2 \ln(BIZ_{kj}) \quad (2)$$

여기서, HRT_k 는 중전철 k 역 승차인원, LRT_k 는 경전철 k 역 승차인원, HH_{kj} 는 k 역 j 반경(m)내 소지역단위 총가구수, BIZ_{kj} 는 k 역 j 반경(m)내 소지역단위 총사업체수, $D_1 \sim D_4$ 는 지역별 더미변수(각각 광주, 대전, 대구, 부산), a, b_1, b_2 는 계수를 각각 나타낸다.

앞에서 제시된 회귀분석모형을 검토하기 위해, 노선별 예측과 각 역별 예측을 실적자료와 비교하였다. 즉, 모형에서 예측된 노선의 총 승차인원과 노선 총 수송실적과의 비교 및 각 역별 예측치와 각 역별 실적과의 오차를 비교하였다. 노선의 총 승차인원 예측수요는 인천1호선, 광주1호선, 대전1호선, 대구1호선, 대구2호선, 부산2호선에서 예측오차율이 ±11% 이내로 비교적 예측수요의 신뢰성에 문제가 없음을 알 수 있었다(Table 4). 이에 반해 1기 도시철도라 할 수 있는 부산1호선과 지선역할을 담당하는 부산3호선의 예측 오차율은 큰 것으로 나타났다. 또한 경전철은 노선별 수송실적의 차이가 커서, 모

Table 2. Results of the regression model of a heavy rail transit system.

Variable	Coefficients		T-value
	B	Std. Error	
(Constant)	4.865	0.295	16.509**
D1(Gwangju)	-1.028	0.152	-6.750**
D2(Daejeon)	-0.451	0.143	-3.143**
D3(Daegu)	-0.276	0.117	-2.346**
D4(Busan)	-0.149	0.113	-1.317
Household	0.058	0.046	1.266
Business	0.494	0.048	10.334**

R Square : 0.587, F-value : 50.0, **: significant at the 0.05 level

Table 3. Results of the regression model of a light rail transit system.

Variable	Coefficients		T-value
	B	Std. Error	
(Constant)	3.882	0.918	4.227**
Household	0.055	0.136	0.402**
Business	0.392	0.143	2.753**

R Square : 0.213, F-value : 6.5, **: significant at the 0.05 level

Table 4. Comparison of error rates by HRT and LRT.

Railway type	Railway line	Error rates	Railway type	Railway Line	Error rates
HRT	Incheon 1	-4%	HRT	Busan 2	2%
HRT	Gwangju 1	-6%	HRT	Busan 3	31%
HRT	Daejeon 1	-8%	LRT	Busan-Gimhae	-45%
HRT	Daegu 1	-11%	LRT	Uijeongbu	-6%
HRT	Daegu 2	-7%	LRT	Yongin Everline	25%
HRT	Busan 1	-34%			

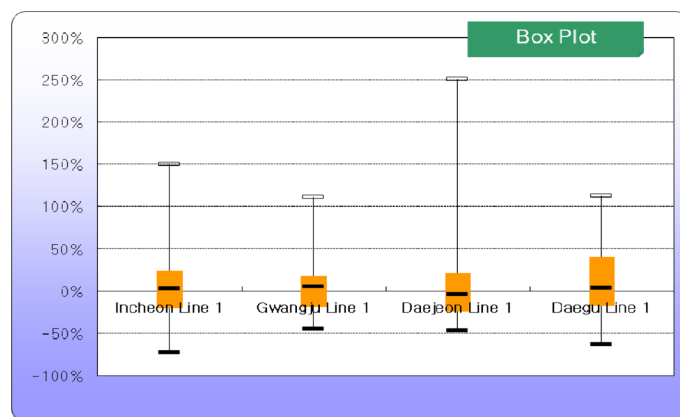


Fig. 1. Box plot of error rates.

형의 총 승차인원 예측 오차율 또한 노선별로 편차가 심한 것으로 나타났다. 각 역별 승차인원 오차율을 세부적으로 살펴 보면, 오차율의 편차가 심한 것을 확인할 수 있다. Fig. 1의 Box plot에 나타나 있듯이, 중앙값을 중심으로 전체 자료의 중앙 50%를 점유하는 상자의 크기는 신뢰성을 만족할 수 있는 수준이나, 여전히 오차율의 편차가 큰 역들이 존재함을 알 수 있다. 예를 들어 인천1호선의 역별 최대 오차율은 150%이며 대전 1호선은 250%이다.

4. 실증분석에 통한 역 특성 반영 오차 보정방안

본 장에서는 앞에서 검토된 직접수요모형을 활용한 도시철도 수요예측의 한계인 역별 예측수요 오차에 대한 신뢰성을 향상시키기 위한 방안을 검토한다. 특히, 최근 사회적 이슈가 되고 있으며 그 동안 실증적인 분석이 이루어지지 못했던 경전철 노선을 대상으로 분석하였으며 오차 보정방안 마련을 위해 현장실태조사 및 실증적 분석을 수행하였다. 현장실태 조사 내용은 역세권 주변의 인구, 사회, 경제 및 환경, 토지이용형태, 접근성, 타 교통수단과의 연계성, 도시철도간 환승 편의성 등으로, 역별 승차인원에 미치는 주요 영향요소들을 조사하였다. 조사 및 분석대상은 4개 경전철 노선 64개 역 중 최근 급격한 토지이용 변화(예, 택지개발)가 이루어진 역을 제외한 54개 역이다. 소지역단위 사회경제지표 통계자료(2010년)와 경전철 수송실적(2012년~2013년)을 일치시키기 위해 사회경제지표의 연도별 변화(성장률)를 반영하여 분석하였다.

본 연구에서 제안하는 역 특성 반영 보정방안은 역별 승차인원에 영향을 미치는 요소들을 파악하여 원단위를 활용한 “spreadsheet based sketch planning method”이다. 우선, 현장실태 조사와 실적자료와의 관계를 검토하여 노선 간 특성을 파악할 필요가 있으며 역의 특성을 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 먼저, 역 주변의 인구 및 토지이용형태가 혼합되어 있는 등 객관적인 관점에서 “기준(Standard) 역”으로 불릴 수 있는 역을 선별할 수 있다. 도심지역에 토지이용형태가 주거와 상업 등으로 적절히 혼합되어 있어 인구분포에 특이함이 없고 역 접근성에 큰 문제가 없는 역들이 이에 속한다. 이에 반해 “특수한(Special) 역”을 별도로 분류할 수 있다. 예를 들어 환승역, 공항, 대학 또는 공장지역 등 특정 산업에 특화된 역과 역 접근성이 열악한 역 등이 이에 해당한다. 예를 들어 인구규모와 승차인원과의 관계를 나타낸 Fig. 2에서 타원 내에 있는 역들은 기준 역, 타원 밖에 있는 역들은 특수한 역으로 분류될 수 있다. 이와 같이 사회경제지표와 역 주변 공간적 특성에 대한 기초자료를 수집하고 승차인원과의 관계분석을 통해 기준이 되는 역과 특수한 역을 선별한다. 기준 역은 직접수요모형을 활용하여 역별 수요를 예측하고, 특수한 역은 해당 역의 속성 및 특징에 따라 원단위 보정방안을 마련하여 역별 수요 예측치와 수송실적인원간의 오차를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

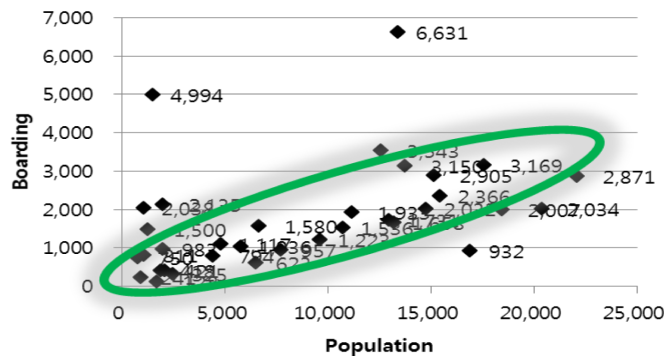


Fig. 2. Example of standard stations and special stations.

본 연구에서 제안하는 방법은 직접수요모형을 바탕으로 역 특성 반영 보정방안을 연계하여 분석하는 방법으로써 식(3)과 같다. 즉, 사회경제지표 통계를 기반으로 한 직접수요모형(DDM_i)을 통해 역별 수요가 산정되고, 각 역별 특성에 따라 해당되는 영향계수(f_{ij})를 적용하여 역별 수요를 보정한다. 여기서 직접수요모형의 기준을 설정할 필요가 있으며 본 연구에서는 인천1호선 모형을 기준으로 설정하였다.

$$Boarding_i = DDM_i \times \left(1 + \frac{f_{ij}}{100} \right) \quad (3)$$

여기서, $Boarding_i$ 는 i 역 승차인원, DDM_i 는 직접수요모형을 활용한 i 역 승차인원, f_{ij} 는 i 역에 해당하는 영향계수 $j, j=1\sim 5$ 로써 각각 내부통행비율 계수, 노선역할 계수, 환승역 계수, 대학교 계수, 기타 계수(공항, 놀이공원, 대형시장, 스포츠 콤플렉스, 제조업, 접근성 등)을 나타낸다.

실증분석을 통해 보정을 위한 영향계수를 크게 5가지로 구분하였으며 각 영향계수에 대한 설명은 다음과 같다. 첫째, 도시철도 노선의 영향권 내 내부통행비율(f_{i1})이 노선 전체의 승차인원에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 노선 총수요 대비 노선의 영향권 내에서만 통행하는 수요의 비율을 나타낸다. 내부통행비율 영향계수 추정을 위해 노선의 영향권(예, 시군구 단위)을 먼저 설정하고 국가교통DB를 활용하여 내부통행량 비율을 산출할 수 있다. 이때 본 연구에서는 인천1호선을 기준모형으로

설정하였으므로 인천1호선의 내부통행비율을 산출한 후 인천1호선 대비 분석 대상 노선의 상대적 내부통행비율을 추정하여 적용할 수 있다. 둘째, 노선의 역할(f_{i2})이 총 승차인원에 영향을 끼칠 수 있다. 예를 들어 부산-김해 경전철은 대도심과 부도심을 연계하는 역할, 부산4호선은 대도심 지선의 역할, 의정부 및 용인 경전철은 도심 간선 및 지선의 역할을 담당하며 이에 대한 영향을 구분하여 적용할 수 있다. 다만, 노선역할 영향계수는 절대적 값으로 추정하기에는 어려움이 있으며 각 노선의 실적자료를 바탕으로 실증적으로 유추할 필요가 있다. 셋째, 환승역(f_{i3})의 분류에 따라 승차인원이 영향을 받을 수 있다. 환승역은 크게 3가지로 분류할 수 있으며, 환승거리가 과다한 역(Type1, 예, 의정부역), 일반적인 환승역(Type 2, 예, 사상역) 그리고 환승역 하차인원의 대부분이 타 도시철도로의 환승을 주목적으로 하는 환승 전용역(Type 3, 예 대저역) 등으로 분류하여 승차인원 영향력의 차별화가 필요하다. 넷째, 역명이 대학교 이름을 지닌 역이 다수 존재하지만, 실제 대학교(f_{i4})의 학생수 및 접근 거리에 따라 승차인원에 미치는 영향력의 차이가 발생할 수 있다. 실적자료를 바탕으로 실증적으로 검토한 결과 도보거리가 1km이상인 대학교(Type 1)는 승차인원에 영향을 미치지 않는 반면, 도보거리 1km 이하이면서 학생수가 3,000명 이하인 대학교(Type 2)는 승차인원에 근소한 영향을, 도보거리 1km 이하이면서 학생수가 3,000명 이상인 대학교(Type 3)는 승차인원에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기타 영향요인(f_{i5})으로 제조업 위주의 역(예, 지내역, 페벌르네시떼역)과 접근성이 열악한 역(예, 발곡역)은 승차인원에 감소요인으로 작용하며, 놀이공원(예, 에버랜드역), 공항(예, 공항역), 대형시장(예, 반여농산물시장역), 스포츠 콤플렉스(예, 운동장-송담대역) 등은 승차인원에 증가요인으로 작용하였다.

각 영향계수를 54개 경전철 역을 대상으로 실증적으로 분석한 결과가 Table 5에 정리되어 있다. 단, 여기서 제시된 영향계수를 절대적인 값으로 추정하기는 어려우므로 본 연구에서는 서로 다른 노선의 역 특성과 실제 승차인원을 바탕으로 실증적으로 분석한 결과이다. 분석된 영향계수와 식(3)을 활용하여 본 연구에서 제안된 역별 수요방안의 적용성을 검토하였다. 이때 노선의 특성과 환승역 분류 및 대학교 분류에 해당하는 $f_{i1} \sim f_{i4}$ 는 실적자료를 바탕으로 각 노선 또는 분류에 따른 영향계수를 각각 적용했으며, f_{i5} 는 Table 5에 정리된 영향계수 범위의 중앙값을 활용하였다. 최종 보정된 예측 승차인원과 실제 승차인원과의 오차율을 검토한 결과(Fig. 3), 각 역별 예측수요 오차율의 편차가 직접수요모형만을 고려한 경전철 노선 승차인원 오차율(Table 4)에 비해 많이 개선된 것으로 나타났다. 즉, 모든 노선에서 오차율의 중앙값이 0에 근접했으며, 용인경전철을 제외한 3개 노선의 경우 중앙 50%를 점유하는 역별 오차율이 약 $\pm 10\%$ 이내로 나타나 예측의 정확성이 많이 향상되었음을 알 수 있다. 용인경전철의 경우 역별 오차율 편차가 크게 나타난 이유는 가장 최근에 개통된 노선으로 인해 수요의 안정화 단계에 접어들지 못한 이유가 가장 큰 원인으로 판단된다.

본 연구결과를 활용하기 위해서는 장래 사회경제지표에 대한 예측치가 필요하다. 현재 통계청에서는 인구 및 가구에 대한 전국 시도단위의 장래 추계를 제공하고 있으며 국가교통DB에서는 장래 인구, 취업자수, 종사자수 등에 대한 준별(광역권은 읍면동 단위, 전국은 시군구 단위, 40년간 5년 단위) 예측치를 제공하고 있다. 따라서 역별 장래 수요예측을 위해 해당 준 단위의 연도별 성장률을 적용하여 장래 사회경제지표를 추정할 수 있으며, 보다 상세한 개발계획 등을 반영한 신뢰성 있는 통계자료가 있다면 활용가능 할 것으로 보인다. 본 연구에서는 인천1호선을 기준으로 중소도시 규모의 경전철 역 특성을 반영한 오차 보정방안 및 영향계수를 제시했으며, 지역의 토지이용 및 사회경제적 특성이 인천1호선과 현저히 차이가 나고 역별 수요에 영향을 미친다면 추후 건설 및 운영되는 경전철 역에 대한 추가적인 실증분석이 필요하다.

Table 5. Adjustment factors.

Impact factor	Description	Range
f_{i1}	Rate of internal trips	-14% ~ -33%
f_{i2}	Role of transit line	-50% ~ -80%
f_{i3}	Transfer type	35% (Type 1) 200% (Type 2) 650% (Type 3)
f_{i4}	University type	0% (Type 1) 5% (Type 2) 80% (Type 3)
f_{i5}	Manufacturing business	-35% ~ -55%
	Accessibility	-20% ~ -30%
	Sports complex	30% ~ 50%
	Big-size market	100% ~ 120%
	Amusement park	250% ~ 290%
	Airport	300% ~ 400%

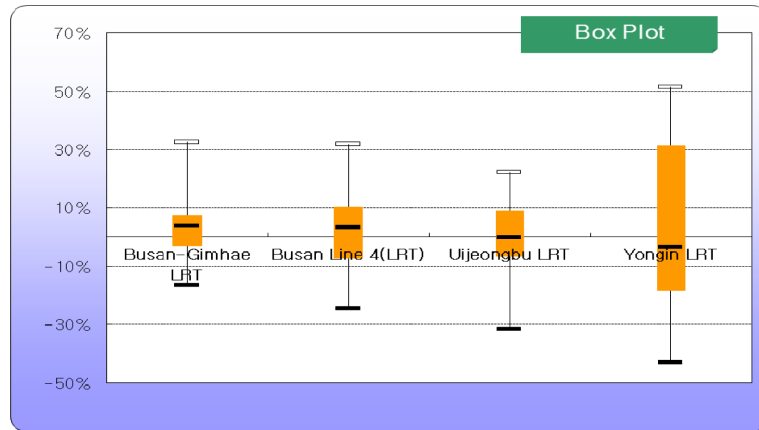


Fig. 3. Station boarding error rates using the proposed method.

5. 결 론

본 연구에서는 전통적 4단계 수요예측방법론보다 분석비용과 시간을 절감하면서 도시철도 기본구상 또는 연구개발 단계에서 실효성이 없는 사업의 선별에 유용한 직접수요모형과 적용성에 대해 논의하였다. 지방 광역 대도시권 도시철도 노선을 대상으로 기존 읍면동 기준의 데이터보다 공간적 범위가 세밀한 통계청 소지역단위 사회경제지표 통계를 활용하여 직접수요모형을 구축하였다. 예측수요를 실적자료와 비교해본 결과 노선의 총승차인원 예측은 신뢰성 있는 수준으로 나타났으나, 각 역별 승차인원 예측에서는 오차율의 편차가 역별로 심한 것을 알 수 있었다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 특히 최근 사회적 이슈가 되고 있는 경전철 노선을 대상으로 현장실태조사 및 실증분석을 수행하였다. 본 연구에서 제시한 역 특성 반영 수요분석 방안은 노선 및 역 특성 기초자료와 수송실적과의 비교분석을 통해 기준이 되는 역과 특수한 역을 구분하고 원단위 보정방안을 활용하여 실증적으로 분석한 방법이다. 분석 결과 노선의 특성과 관련이 있는 영향요인은 내부통행비율과 노선의 역할이며, 역별 특성과 관련이 있는 영향요인은 환승 유무 및 환승역 타입, 대학교 접근성 및 학생수, 역 접근의 편의성, 제조업 위주 토지이용과 기타 토지이용(공항, 농리공원, 대형시장 등) 등으로 나타났다. 경전철 54개 역을 대상으로 제안된 보정방안의 적용성을 검토한 결과 역별 예측 수요 오차율이 상당히 개선되어 수요예측의 신뢰성이 향상된 것으로 나타나 역 특성을 반영한 직접수요모형의 활용가능성을 확인하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같은 정책적 의미를 지니고 있다. 첫째, 사회적 이슈가 되고 있는 경전철 수요와 역별 수요에 미치는 영향요소를 실증적으로 분석하여 직접수요모형의 신뢰성과 활용가능성을 높였다. 둘째, 수요예측 분석 방법론의 다양화에 기여할 수 있다. 교통시설 투자 의사 결정을 위한 국내 지침에서는 전통적 4단계 수요추정법을 근간으로 하고 있으며, 동일한 방법론을 도시철도 기본구상 단계에도 적용한다면 분석에 소요되는 시간과 비용이 과다 투입되는 비효율을 피할 수 없다. 또한 사업 진행을 위한 사전, 사후 및 검증 단계별로 동일한 분석방법론 적용으로 인해 결과의 신뢰성이 사회적 이슈로 대두될 수 있다. 개략적 수요추정방법론은 4단계 모형에 비해 분석비용과 시간을 절감하면서 기본구상 단계에서 정책대안이 많을 때 의사결정을 신속히 할 수 있는 수준으로 분석이 가능하다. 마지막으로, 역별 승차인원에 미치는 영향요소들을 실증적으로 분석함으로써 각 요소들의 상대적 영향력을 파악할 수 있었다. 수요에 미치는 다양한 영향요인을 고려함으로써 향후 도시철도 도입 추진 시 효율적인 투자를 위해 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

한편, 본 연구에서 제시하는 방법론이 기존 4단계 분석방법론을 대체할 수 있는 것은 아니며 4단계 분석방법론을 적용하기 이전에 활용할 수 있는 보완적 방안으로써 가치가 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 경전철 개통 후 초기 수송실적 자료를 활용함으로써 분석결과에 한계가 있을 수 있다. 또한 본 연구에서 제시한 영향계수는 제한된 데이터로 인해 절대적인 값으로 추정하기 어려운 한계가 있으며, 서로 다른 노선의 역 특성과 실제 승차인원을 바탕으로 실증적으로 분석하였다. 따라서 경전철 수요에 대한 지속적인 모니터링이 필요하며 향후 신규 노선 등 추가적인 데이터가 확보된다면 모델링을 통해 영향계수를 보다 정확히 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] E.Y. Shon, B.W. Kwon, M.H. Lee (2004) Modelling the subway demand estimation by station using the multiple regression analysis by category, *Journal of Korean Society of Transportation*, 22(1), pp.33-42.
- [2] FHA, UMTA (1977) *An introduction to urban travel demand forecasting – a self-instructional text*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C., pp.1-198.
- [3] C. Chung, S.G. Kim, C.S. Kim (2007) A comparison study on fare and time elasticity on intercity rail travel demand, *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, 27(5), pp.547-553.
- [4] H.J. Kim, C.M. Jung (2010) Development of a direct demand estimation model for forecasting of railroad traffic demand, *Conference of the Korean Society for Railway*, Changwon, 10, pp.1-13.
- [5] D.O. Kim, C.K. Park, H.G. Choi, J.W. Lee (2004) Modelling the passenger demand estimation for urban rail transit based on the characteristics of transit service area, *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, 24(6), pp.863-872.
- [6] H.G. Sung, D.J. Kim, J.H. Park (2008) Impacts of land use and urban design characteristics on transit ridership in the Seoul rail station area, *Journal of Korean Society of Transportation*, 26(4), pp.135-147.
- [7] Y.I. Moon, J.H. Rho (2011) An empirical analysis on public transportation demand and TOD design factors in Seoul subway adjacent area, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 13(4), pp.211-220.
- [8] L. Usvyat, L. Meckel, M. DiCarlantonio, C. Lane (2009) Sketch model to forecast heavy-rail ridership, *TRB Conference of 88th Annual Meeting*, Washington, D.C., pp.1-19.
- [9] C. Lane, M. DiCarlantonio, L. Usvyat (2006) Sketch models to forecast commuter and light rail ridership: Update to TCRP Report 16, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1986, pp.198-210.
- [10] N. Marshall, B. Grady (2006) Sketch transit modeling based on 2000 Census data, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1986, pp.182-189.
- [11] R. Cervero (2006) Alternative approaches to modeling the travel-demand impacts of smart growth, *Journal of the American Planning Association*, 72(3), pp.285-295.
- [12] M. Kubly, A. Barranda, C. Upchurch (2004) Factors influencing light-rail station boardings in the United States, *Transportation Research Part A*, 38, pp.223-247.
- [13] R.M. Pendyala, I. Ubaka, N. Sivaneswaran (2002) Development of a GIS-based regional transit feasibility analysis and simulation tool, *81th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., pp.1-29.
- [14] R. Cervero, J. Murakami, M.A. Miller (2009) Direct ridership model of bus rapid transit in Los Angeles County, Working Paper, UC Berkeley Center for Future Urban Transport, UC Berkeley., pp.1-15.

【 Received 11 December 2014; Revised 25 February 2015; Accepted 1 April 2015 】

Kwang Sub Lee : leeks33@ krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176, Railroad Museum Road, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

Jin Ki Eom : jkom00@ krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176, Railroad Museum Road, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

Dae Seop Moon : dsmoon @ krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176, Railroad Museum Road, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

Cheol Park : nh1823@ nate.com

Myongji University, 116, Myongji-ro, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 449-728, Korea

Jong Jin Shin : jin0513@ krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176, Railroad Museum Road, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea