

서울 도시철도 네트워크와 역세권 토지이용 특성을 고려한 도시철도 차내 혼잡도의 영향요인*

A Study on the Factors Affecting Crowding Degree in the Subway Train Considering the Seoul Metropolitan Subway Network and the Land Use of Its Catchment Area

강영경** · 이창효*** · 이승일****

Kang, Yeonggyeong, Yi, Changhyo · Lee, Seungil

Abstract

Subway has many virtues so that it is appropriate for metropolitan area. Local governments of many metropolitan cities try to encourage people to use subway. However, in Seoul, passengers are heavily concentrated in specific areas. This results in crowded subway train. On the other hand, in some areas, there are few passengers. In light of enormous subway construction cost, this imbalance is inefficient. Therefore, distributing passengers evenly should be considered. To do so, it is needed to identify what factors cause crowded subway train. The goal of this study is to identify the factors using regression analysis. A dependent variable of the model is the average crowding degree from 8 a.m. to 9 a.m. in subway train in Seoul. Independent variables are land use of subway station area, betweenness centrality, and the number of nearby transfer stations. The analysis showed difference of land-use factors' influence by direction of subway and importance of betweenness centrality. This implies that the change of subway line or development of destination station areas with high betweenness centrality may worsen crowding degree of subway train.

키 워 드 ▪ 차내 혼잡도, 도시철도, 매개중심성, 토지이용, 서울시

Keywords ▪ Crowding Degree, Subway Network, Betweenness centrality, Land Use, Seoul Metropolitan Area

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

도시철도는 도로 혼잡과 상관없이 대규모의 인원을 정시에 수송할 수 있다. 특히 평일 오전 시간대

는 하루 중 통행량이 가장 많으며 그중 대부분이 정시도착을 요구하는 출근목적의 통행이다. 도시철도는 이처럼 많은 인원을 같은 시간에 같은 장소로 수송시키는데 적합한 여객수단이다(Daniels & Mulley, 2013). 더불어 수송에너지 소비량과 온실가스 배출량이 다른 수송수단보다 낮아 정부와 각 지

* 이 논문은 한국연구재단의 중견연구지원사업(No.2011-0028094)과 일반연구지원사업(No.2011-0011502)의 지원을 받아 수행되었음.

** 서울시립대학교 도시공학과 석사 (주저자: ykkang@uos.ac.k)

*** 서울시립대학교 도시공학과 연구교수

**** 서울시립대학교 도시공학과 정교수 (교신저자: silee@uos.ac.kr)

방자치단체 차원에서 도시철도 이용을 더욱 장려하고 있다. 최근 도시계획 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있는 대중교통 지향형 개발(Transit-Oriented Development) 역시 이와 같은 맥락에 있다(Calthorpe, 1993).

그러나 다른 교통수단과 마찬가지로 도시철도의 수송인원 역시 한계가 있다. 과도한 인원의 탑승은 불가피한 신체접촉으로 인한 개인 프라이버시 침해, 사고와 범죄 위협의 증가, 혼잡으로 인한 승하차 지연 등의 불편을 초래한다(Tirachini et al., 2013). 비록 수도권에 속하지 않은 다른 도시들에서는 도시철도의 혼잡보다 낮은 이용률이 더욱 중요한 문제이나, 서울, 도쿄, 뉴욕 등 도시철도의 이용자가 많은 도시의 경우 특정 구간에 이용자가 과도하게 집중되어 전체적인 도시철도의 이용에 부정적인 영향을 주고 있다. 차내 혼잡수준을 나타내는 차내 혼잡도는 정원 대비 탑승인원의 백분율로 계산되며 1~9호선 열차의 차량 정원은 160명 내외다. 2012년 국토해양부에서 수행한 서울 도시철도 1~9호선의 혼잡도 조사 결과에 따르면 출근시간대 9호선 여의도역과 노량진역 구간을 운행하는 급행열차의 차내 혼잡도는 240%, 2호선 사당역과 방배역 구간을 운행하는 차량의 혼잡도는 196% 수준으로써 정원의 두 배가 넘는 인원이 탑승한다.

한편 같은 시간대여도 도시철도의 운행방향과 지역에 따라 차내 혼잡도가 다르며 그 불균형이 크다(Jang et al., 2012). 각 도시철도 운영기관에서 산정한 평일 오전 8시대 평균 차내 혼잡도 자료를 보면 강변역에서 종합운동장역 방향으로 운행하는 2호선 도시철도의 차내 혼잡도는 150% 내외지만 반대 방향의 경우 50%에 미치지 못한다. 사당역에서 방배역으로 이어지는 구간 역시 사당에서 방배역 방향으로 운행하는 도시철도의 차내 혼잡도는 176% 수준이지만 반대 방향은 52%로 큰 차이가 난다. 도시철도 건설에 드는 막대한 비용을 고려하

면 이러한 이용자의 불균형은 도시철도 운영에 있어 비효율을 초래한다(최창규 외, 2012). 그동안 서울의 대중교통이용계획은 이러한 불균형을 고려하지 않고 다른 도시와 마찬가지로 대중교통의 수단 부담률을 높이는 것에 초점을 맞추어왔다. 또한, 목적조사가 필요한 차내 혼잡도 보다 상대적으로 예측이 쉬운 역별 승하차 인원수를 기준으로 수요분석이 이루어졌다. 그러나 차내 혼잡도는 도시철도의 수송용량이 반영된 서비스 수준으로써 역사 내 혼잡과 관련된 승하차 인원과는 의미하는 바가 다르다. 차내 혼잡도가 매우 높은 구간에서도 역별 승하차 인원은 작게 나타날 수 있으며 그 반대의 경우도 가능하다. 예를 들어 평일 오전 첨두시간대는 도시철도 이용자의 대부분이 업무기능이 밀집된 도심, 부도심 지역으로 향하기 때문에 해당 역까지 향하는 도시철도의 차내 혼잡도가 높지만, 주변부 역의 승하차 인원은 상대적으로 적을 수 있다.

따라서 도시철도의 노선별, 운행 방향별 차내 혼잡도를 고려하여 대중교통계획이 이루어져야 하며, 이를 통해 첨두시간대의 차내 혼잡을 완화하면서 도시철도의 전반적인 이용효율을 높일 방안을 마련하는 것이 필요하다(최창규 외, 2012).

이러한 논의를 바탕으로 본 연구는 서울을 대상으로 도시철도 차내 혼잡도에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 한다. 이를 위하여 2장에서 높은 차내 혼잡도의 실질적인 영향과 이를 해결하기 위하여 논의된 방안들을 검토했다. 3장에서는 서울 도시철도 혼잡도 현황을 살펴보고, 4장에서는 본 논문에서 이용된 분석모형과 변수를 설명하였다. 마지막으로 5장에서는 분석결과와 해석을 제시하였다.

2. 연구의 범위

본 연구는 서울메트로와 서울도시철도공사에서 자체적으로 이루어진 1~8호선 도시철도 차내 혼

잡도 조사 자료를 바탕으로 분석을 수행했다. 조사 시기는 2011년 12월이며 혼잡도는 주중, 주말로 나누어 하루 전체 운행시간에 대해 매시간 또는 매 30분 단위의 평균값으로 산정되었다. 연구의 시간적 범위는 평일 오전 8시대로, 공간적 범위는 서울시로 한정하였다. 평일 오전 8시대로 한정하는 이유는 통근통행으로 인해 이용자가 시간적, 공간적으로 집중되어 특정 구간의 혼잡이 높기 때문이다. 또한, 분석대상지로 서울시를 선택한 것은 다른 도시보다 도시철도의 이용자가 많고 혼잡이 심한 구간이 나타나기 때문이다. 단, 서울메트로와 서울도시철도공사가 운영하지 않는 다른 도시철도 구간은 혼잡도 자료를 구할 수 없어 분석에서 제외하였다.¹⁾

II 선행연구 고찰

1. 도시철도 혼잡의 영향

높은 차내 혼잡은 불가피한 신체접촉으로 인한 개인 프라이버시 침해(Wardman & Whelan, 2011), 스트레스(Lundberg, 1976), 사고와 범죄 위험의 증가(박경철 외, 2011), 혼잡으로 인한 승하차 지연(Lin & Wilson, 1992; Puong, 2000)등의 불편을 초래한다(Tirachini et al., 2013). Lundberg(1976)는 스웨덴에서 철도를 이용하는 통근자를 대상으로 차내 인원이 증가함에 따라 이용자의 스트레스가 증가함을 임상적으로 밝혔다. Cox et al.(2006)은 차내 인원의 밀도가 이용객의 스트레스와 안전에 영향을 미치는 과정을 단계별로 모형화하고 문헌 연구를 통해 이를 체계적으로 정리하였다. Cantwell et al.(2009)은 아일랜드를 대상으로 명시 선택 분석방법을 통해 대중교통의 가장 큰 불만족 요인이 혼잡임을 보였다.

Lin and Wilson(1992)과 Puong(2000)은 차내 혼잡으로 인해 승하차가 지연되는 영향이 비선형적으로 증가함을 보였다. 이는 국내의 연구에서도 확인된 것으로 오석문(2005)의 연구에서 승하차 시간이 전체 정차시간의 30~60%를 차지하고, 승하차 승객의 수가 많을수록 그 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 엄진기 외(2012)는 스마트카드 자료를 이용하여 인천 도시철도 1호선의 오전 첨두시의 정시성과 혼잡도를 계산하고 이를 바탕으로 서비스 수준을 평가하였다. 분석 결과, 운행방향에 따라 혼잡 수준이 크게 차이 나며 환승역에 가까울수록 혼잡이 심하고 차내 혼잡이 심해지는 구간부터 연착발생이 잦아지며 이는 이후 역까지 누적된 영향을 미침을 확인하였다.

이러한 영향들로 인해 혼잡은 다른 대안이 존재할 경우 경로와 수단선택에 영향을 미치고 사회적 비용을 유발(Prud'homme et al., 2012)하므로 적절한 대중교통 계획 수립 시 고려해야 할 중요한 요인이다(Krause, 1991; Tirachini et al., 2013; 박준환 외, 2007). Raveau et al. (2011)은 산티아고를 대상으로 한 연구에서 도시철도 차량 내 인원이 도시철도 네트워크의 경로선택을 설명하는 데 중요하며 그 영향이 비선형적으로 작용함을 보였다. 박준환 외(2007)는 차내 혼잡이 이용객의 노선선택에 영향을 미치기 때문에 대중교통 수요를 현실적으로 추정하기 위해 이를 고려하는 것이 필요하다고 보고 수정된 통행배정모형을 제시하였다. 모형분석결과 최단 시간 경로에 모든 수요가 배정되는 대신 혼잡을 고려하여 노선별로 분산됨을 확인하였다. Prud'homme et al.(2012)은 파리의 지하철을 대상으로 한 설문조사를 통해 대부분 이용객이 혼잡을 피하는 대신 5~10분 또는 10~15분의 시간을 더 소요의 있음을 알아냈다. 이 시간을 비용으로 환산하면 차량 내부 1m²의 면적당 탑승객이 1인 증가함에 따라 0.68유로에 달한다.

이처럼 혼잡은 도시철도 이용 전반에 부정적인 영향을 미치기 때문에 도시철도 이용 향상을 위한 계획의 수립에서 반드시 고려되어야 할 사항이다. 그리고 이를 위해서는 혼잡 요인을 규명하는 연구가 필요하다.

2. 도시철도 혼잡 원인 분석과 완화 방안

Daniels and Mulley(2013)는 오스트레일리아 시드니를 대상으로 한 연구에서 대학교 학생과 교직원으로 인한 첨두시의 혼잡을 분산하는 방안으로 비첨두시 대중교통 공급, 비첨두시 요금 혜택, 도보와 자전거 이용 장려 제도, 대학교 수업 시간 변경 등의 방안과 그 영향을 제시하였다. 조성근 외(2013)는 서울 도시철도 2호선의 높은 혼잡수준을 해결하는 방안으로써 적정운행간격 확보, 승차장 구조개선을 통한 통행 흐름 원활화 등을 제시하고 있다. 김채만(2011)은 경기도 광역버스의 운영을 효율화하는 방안으로 차내 혼잡도 완화를 제시하고 노선개편과 이층 버스 도입 등의 시설 확충을 제안하였다. 신성일(2013)은 대중교통의 오전 첨두시 혼잡을 완화하는 방안으로 변동요금제 도입을 제시하였다. 이상과 같이 그동안 혼잡을 완화하려는 방안으로 차량 확대 편성, 승차장 설계, 이용자의 이용시간대 분산 등이 제안되었다.

그러나 상대적으로 도시공간구조 측면에서 이용 수요를 공간적으로 분배하는 방안에 대한 논의는 드물다. 교통 수요는 토지이용과 밀접한 관련이 있으므로 도시철도의 높은 혼잡 역시 도시공간구조 측면에서 접근할 필요가 있다. 최창규 외(2012)는 특정 구간에 집중된 수요가 높은 차내 혼잡도로 이어지며, 이는 해당 구간 이용자의 불편뿐만 아니라 도시철도의 전반적인 운영에도 부정적인 영향을 미침을 지적하였다. 그리고 이에 대한 해결책으로써

통행량을 고르게 배분하도록 역세권별로 토지이용의 밀도와 용도를 계획해야 할 정책의 필요성을 주장하였다.

이와 유사한 배경에서 Jang et al.(2012)은 인접 토지이용이 도시철도 차내 혼잡도에 미치는 영향을 회귀모형으로 분석하였다. 모형의 종속변수는 각 역간 구간의 평일 오전 8시대 평균 차내 혼잡도이며, 독립변수로서 해당 구간을 지나는 도시철도가 이전에 거쳐 온 10개 역과 이후에 거쳐 갈 10개 역의 반경 500m 내 건축물의 용도별 면적이 설정되었다. 세부적으로 주거, 업무, 상업, 공공, 기타의 각 건축물 용도에 따라 다섯 개의 회귀 모형이 구축되었다. 분석결과 모형의 설명력은 인접한 20개 역의 역세권 내 건축물의 업무용도 면적을 독립변수로 했을 때 가장 높게 나타났으며, 주거용도 면적을 독립변수로 설정한 모형을 제외하고 모든 모형에서 통계적으로 유의미한 독립변수들이 나타났다. Jang et al.(2012)은 이를 통해 업무용도 면적이 평일 오전 8시대 도시철도 차내 혼잡도에 가장 큰 영향을 미치며 주거용도 건축물의 영향은 상대적으로 낮음을 밝혔다.

본 연구는 Jang et al.(2012)와 최창규 외(2012)의 논의를 바탕으로 하여 도시철도 차내 혼잡도의 요인을 규명하였다. 특히 Jang et al.(2012)의 연구에서 고려하지 않았던 도시철도 네트워크의 특성과 더불어 도시공간구조 측면의 요인을 제시한 것이 본 연구의 차별성이라고 할 수 있다.

III. 서울 도시철도 혼잡 현황²⁾

서울 도시철도는 2013년 기준 총 영업 거리 327.2km(수도권 전체 945.6km)의 대규모 도시철도 시설이다. 1~8호선의 경우 하루 평균 3,321,207명이 이용하며 수단분담률은 36.2%이다. 서울의 도시

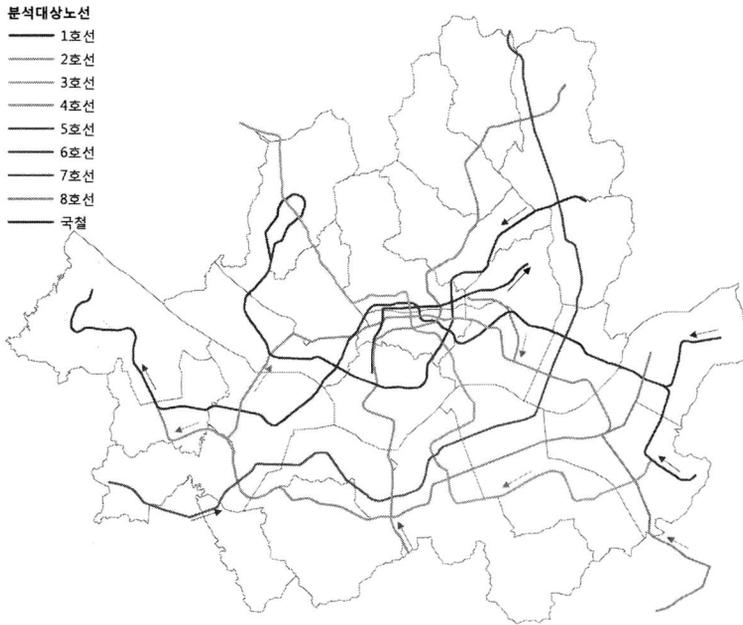


그림 1. 서울 도시철도 1~8호선의 노선과 운행 방향
Figure 1. Map and Direction of Seoul Metro Line 1 to Line 8

철도 이용자 수와 수단분담률은 다른 도시보다 월등히 높다. 그뿐만 아니라 다른 도시보다 차내 혼잡도가 높은 구간이 많다. 서울을 제외한 다른 도시의 경우 수단분담률과 이용자 수가 적어, 상대적으로 차내 혼잡도는 크게 문제되지 않고 있지 않다(표 1). 그러나 서울은 대규모의 도시철도 시설이 설치되어 있음에도 이용자가 특정 구간에 집중되어 해당 구간의 혼잡도가 높다. 본 연구는 서울 도시철도의 노선별 차내 혼잡도를 파악하기 위해 평일 오전 8시대 혼잡도의 공간적 분포를 시각화하였다.

1. 상행선(내선)

도시철도의 상행방향이란 종점이 기점보다 북쪽에 있는 경우로서 1호선은 소요산행, 3호선은 대화행, 4호선은 당고개행, 5호선은 방화행, 6호선은 응

표 1. 전국 도시철도 수송인원과 수단분담률
Table 1. Average Daily Ridership and Mode Share of Metro in Korea

구분	하루 평균 수송인원 (명) Average Daily Ridership	수단분담률 (%) Mode Share
서울 Seoul	3,321,207**	36.20%*
부산 Busan	844,094**	14.30%*
대구 Daegu	345,561**	7.30%*
인천 Incheon	247,582**	10.40%*
대전 Daejeon	105,137**	3.70%**
광주 Gwangju	49,550**	2.70%**

*: 2010년 기준, **: 2012년 기준³⁾

암 순환행, 7호선은 장암행, 8호선은 암사행이 상행이다. 2호선은 순환노선으로써 내선 방향은 시계방향으로 운행하는 노선이다. 그림 1은 각 노선의 상행 방향과 2호선의 내선 방향을 화살표로 나타낸다.

그림 2는 이 방향으로 이동하는 도시철도의 차내 혼잡도를 보여주고 있다. 이를 보면 2호선의 신천~역삼 구간과 신도림~합정 구간이 125% 이상의 혼잡도를 보인다. 7호선은 혼잡 구간이 더 많으며, 송실대입구~고속터미널역 구간 역시 125%이상의 혼잡도가 유지되고 있으며, 이수~고속터미널역 구간과 철산~가산디지털단지 구간은 140% 이상의 혼잡도를 보인다. 4호선 상행의 경우 남태령~사당으로 이어지는 구간이 135%의 혼잡도를 보였다.

2. 하행선(외선)

그림 3은 그림 1에 표시된 화살표 방향의 반대 방향으로 이동하는 도시철도의 차내 혼잡도를 보여주고 있다. 하행방향은 상행보다 혼잡도 수준이 높은 구간이 많다. 특히 높은 혼잡도를 보이는 구간을 살펴보면, 3호선의 경우 불광역부터 혼잡도가 100%가 넘어가면서 을지로3가로 이어지는 구간까지 128%로 높아진다. 4호선의 경우 상행에서는 혼잡도가 100%가 넘는 구간이 한 구간뿐이었으나 하행의 혼잡도 분포를 보면 미아~미아삼거리 구간부터 혼잡도가 100%를 넘어가면서 동묘앞역까지 159%까지 혼잡도가 높아지고 충무로역까지 117%의 혼잡도를 보인다. 7호선의 경우, 하계~공릉 구간에서 강남구청역으로 오는 구간까지 꾸준히 100%가 넘는 혼잡도를 보인다. 특히 군자역~어린이대공원역 구간의 혼잡도는 176%로 가장 높다. 2호선 외선방향의 경우, 신대방역~신림역 구간의 혼잡도가 100%가 넘어가면서 낙성대역~방배역 구간의 혼잡도가 170%대까지 높아지고 이러한 혼잡도 수준

은 강남역까지 유지된다.

이처럼 하행(외선)의 혼잡도는 상행보다 전반적으로 높으면서 혼잡구간이 길게 이어지는 특성을 보이고 있다. 운행방향에 따른 혼잡도의 차이가 있는지를 통계적으로 검증하기 위해 대응표본 t검정을 수행하였다(표 2). 분석결과 유의 수준 5% 내에서 상행과 하행의 혼잡도에 차이가 있는 것으로 나타났다.

표 2. 대응표본 t검정 통계량
Table 2. Paired T-Test statistics

구분	평균의 차이 Mean Difference	t	df	Sig. (2-tailed)
상행 uptrain	-8.37	-2.06	238	.040
하행 downtrain				

IV. 분석방법과 변수설정

1. 다중회귀분석

다중회귀분석은 여러 가지 요인(이하 독립변수, x_1, x_2, \dots)들이 하나의 변수(이하 종속변수, y)에 미치는 영향관계를 통계적으로 검증하기 위해 쓰인다. 본 연구에서는 혼잡도에 영향을 미칠 것이라고 예상되는 요인들의 복합적인 영향을 검증하기 위해 다중회귀분석을 이용하였다. 독립변수와 종속변수의 관계는 다음과 같이 선형관계로 가정하였다.

$$y = B_0 + \sum_i x_i B_i + \epsilon \quad (1)$$

본 연구에서 각 독립변수의 영향력을 나타내는 계수 B_0 와 B_i 는 통상최소자승법(Ordinary least square method)을 이용하여 추정하였다.

서울 도시철도 네트워크와 역세권 토지이용 특성을 고려한 도시철도 차내 혼잡도의 영향요인

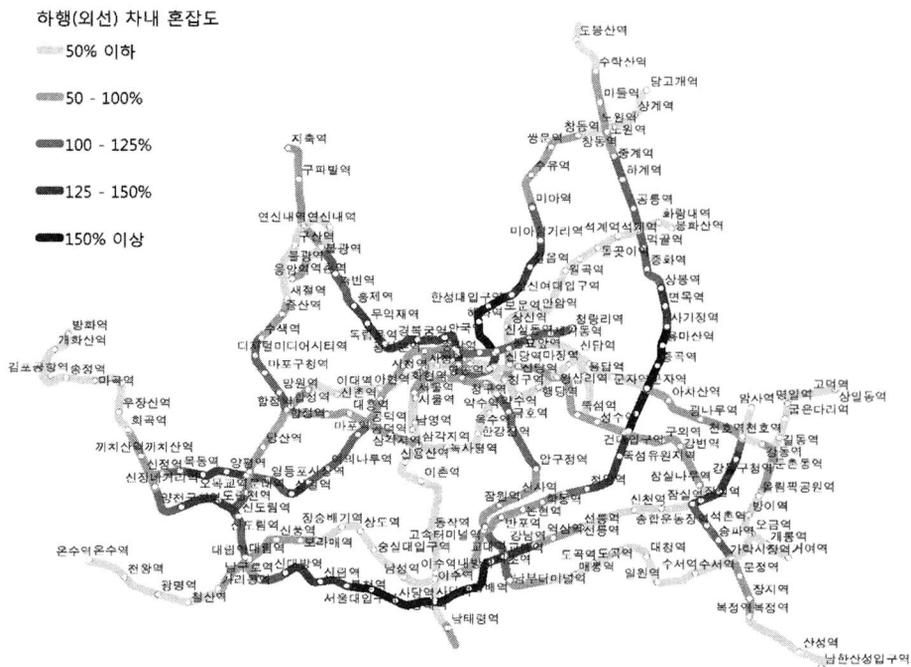
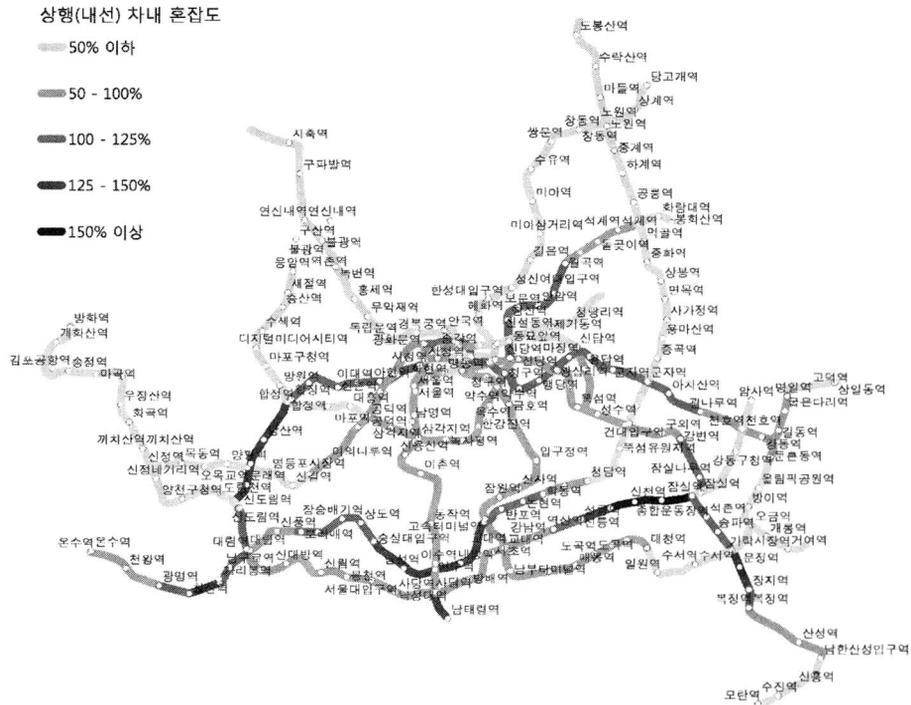


그림 2, 그림 3. 도시철도 상행(위)과 하행(아래)의 평일 오전 8시 평균 혼잡도
 Figure 2, Figure 3. The Average Crowding Degree in a Subway Uptrain(up) and Downtrain(down) from 8 a.m. to 9 a.m.(unit: %)

$$\hat{y} = \hat{B}_0 + \sum_i x_i \hat{B}_i \quad (2)$$

추정된 값 \hat{B}_i 는 독립변수 x_i 가 한 단위 증가할 때 종속변수가 평균적으로 변화하는 양을 나타낸다.

2. 분석변수설정

1) 종속변수

종속변수는 서울 도시철도 1~8호선의 평일 오전 8시~9시 사이의 평균 차내 혼잡도이다. 차내 혼잡도 자료를 구할 수 있는 도시철도 역 간 구간은 상행(내선)방향 259구간, 하행(외선)방향 263구간이 있다. 본 연구에서는 이 중 독립변수 자료 구축에 이용될 역 주변부 건축물의 용도별 면적 자료를 구할 수 있는 상행(내선)방향 242구간, 하행(외선)방향 246구간 이하 총 488개의 구간을 분석 개체(observations)로 선정하였다.

2) 토지이용관련 독립변수

교통수요는 토지이용과 밀접한 관련이 있다. “토지이용의 분포는 인간 활동의 공간적 분포를 의미하고 서로 다른 활동 장소 사이의 거리를 극복하기 위해 통행을 유발”하기 때문이다(Wegener, 1995; 안영수, 2013). 마찬가지로 도시철도의 이용 수요 역시 도시의 토지이용 분포와 밀접한 관련이 있다.

앞서 언급한 바와 같이 도시철도의 차내 혼잡도는 운행방향별로 달라서 토지이용의 영향 역시 운행방향별로 다르게 작용하리라 판단된다. 본 연구에서는 이를 확인하기 위하여 주변 역들을 해당 구간을 운행하는 도시철도가 거쳐 간 역들(이전 범위로 칭함)과 앞으로 거쳐 갈 역들(이후 범위로 칭함)로 분리하고 각 범위에 속한 역들의 토지이용 특성을 나타내는 변수의 평균치를 독립 변수로 설정하였다.

그리고 이전 범위와 이후 범위로써 각각 10개

역을 분석대상으로 설정하였다. 이 범위는 2010년 가구통행실태조사를 바탕으로 설정한 것으로써 서울 시내 통행자의 평균 출근 거리가 9.4km이고 도시철도 역 간 평균 거리가 1km이라는 사실에 기초한 것이다. 통행자의 통행 범위는 구간별로 다르므로 토지이용의 영향범위에 이를 반영함으로써 모형의 설명력을 높일 수 있으나, 본 연구에서는 일반적인 결론을 이끌어 내기 위하여 가장 대표성을 나타내는 통행 범위를 모든 구간에 대해 같게 적용하였다.⁴⁾

위와 같이 설정한 각 범위 내에 속한 역들에 대해서 역 반경 500m 내의 토지이용을 분석 범위로 설정하였다. 역세권은 연구자의 관점에 따라 그 정의가 다르며 그에 따라 범위 또한 다르다(이창호, 2012). 본 연구에서는 보행권역을 기준으로 널리 받아들여지고 있는 역 반경 500m 이내를 역세권 범위로 설정하였다.⁵⁾

최종적으로 이러한 역세권의 토지이용 특성을 나타내는 변수로써 역세권 내 건축물 밀도(이하 토지이용밀도)와 역세권 내 건축물 총 바닥면적 대비 공공, 업무, 상업 건축물 면적의 비율(이하 비주거비율)을 선정하였다. 토지이용 밀도는 역세권 내 건축물의 총 바닥면적을 역세권의 면적(반경 500m의 원의 면적)으로 나눈 것이다. 비주거 비율은 평일 오전 8시대 통행자 대부분이 목적으로 이용할 것이라 가정할 수 있는 공공, 상업, 업무용도 건축물의 비율이다. 이를 통해 인접한 역들의 토지이용의 전체적인 강도(밀도)와 주거/비주거의 혼합 정도가 각각 어떻게 다른 영향을 미치는지를 알아보고자 하였다.

이상의 토지이용 변수들은 자료의 한계로 2008년 서울시 과세 대장 자료를 이용하여 산정하였다. 혼잡도 자료는 2011년에 구축되었으므로 두 자료 간 3년의 시간 차이가 존재하며, 이 기간에 서울시 전체 건축물 면적은 약 5.8% 증가하였고, 서울시

표 3. 회귀모형 변수 목록
Table 3. Regression Model Specification

구분 Division	변수 Variable	설명 Description
종속변수 Dependent variable	y	도시철도 차내 혼잡도의 평일 오전 8시부터 9시까지 한 시간 평균값 Average crowding degree in a subway train from 8 a.m. to 9 a.m.
독립변수 Independent variable	x_1	운행방향을 기준으로 이전에 위치한 동일 노선 내 10개 역의 반경 500m 내 역세권 토지이용 밀도(건축물 총 바닥면적/역세권 면적)의 평균값 Average density of total floor space at the station area of previous 10 stations
	x_2	운행방향을 기준으로 이후에 위치한 동일 노선 내 10개 역의 반경 500m 내 역세권 토지이용 밀도(건축물 총 바닥면적/역세권 면적)의 평균값 Average density of total floor space at the station area of next 10 stations
	x_3	이전에 위치한 동일 노선 내 10개 역의 반경 500m 내 역세권 건축물 총 바닥면적 대비 공공, 상업, 업무용도 면적 비율의 평균값 Average ratio of non-residential floor space to total floor space in previous range
	x_4	이후에 위치한 동일 노선 내 10개 역의 반경 500m 내 역세권 건축물 총 바닥면적 대비 공공, 상업, 업무용도 면적 비율의 평균값 Average ratio of non-residential floor space to total floor space in next range
	x_5	역별 구간의 매개중심성 지수 Betweenness centrality of each link between each stations in subway network
	x_6	이전에 위치한 동일 노선 내 10개 역 중 환승역의 수 The number of transfer stations within the previous range
	x_7	이후에 위치한 동일 노선 내 10개 역 중 환승역의 수 The number of transfer stations within the next range
	x_8	해당 구간의 순환선 여부 The absence or presence of effect of metro loop line

전체 사무실 면적은 약 11.1% 증가하는 변화가 있었다(서울 통계표, 건축기획과). 선행연구를 살펴보면 “도시시스템에서, 주거, 직장, 통행의 변화와 같이 속도가 빠른 인간 활동과 비교하면 토지이용의 변화는 상대적으로 변화의 속도가 느리”(이창효, 2012)기 때문에 두 자료는 동시성이 있는 것으로

간주할 수 있다.

3) 네트워크 관련 독립변수

어떤 도시철도 구간은 앞서 설정한 영향범위 내의 토지이용과 관계없이 통행자가 출발지에서 목적지까지 최단거리로 이동하기 위해 해당 구간을 거

처 같 가능성이 있다. 본 연구에서는 이러한 요인을 반영하기 위하여 네트워크 분석에서 이용되는 중심성을 독립변수로 도입하였다. 중심성은 네트워크 내 결절점(vertex) 또는 구간(edge)의 상대적인 중요성을 정량화한 것이다. 중심성을 정의하는 방법으로써 연결중심성, 매개중심성, 인접중심성 등이 이용된다. 이 중 구간 매개중심성(betweenness centrality)은 두 결절점 사이의 구간 e 가 네트워크 내에 있는 모든 임의의 두 결절점 v_i, v_j 를 잇는 최단 경로 내에 얼마나 많이 포함되는가를 계산한 것이다(Freeman, 1977; Hashimoto et al. 2009).⁶⁾

따라서 두 도시철도 역 A, B 사이의 구간 A-B의 매개중심성이 높다는 것은 이용자가 도시철도를 이용하여 목적지까지 최단거리로 이동하기 위해 해당 구간을 이용할 가능성이 높음을 의미한다. 이를 통하여 본 연구에서 설정한 전, 후 10개 역이라는 범위 내에서 출발 또는 도착하지 않는 통행자들이 혼잡도에 미치는 영향을 반영할 수 있다.

또한 인접한 환승역이 차내 이용자를 유입, 유출하는 역할을 할 것이라 가정하고 본 연구에서 설정한 영향범위 내에 포함된 환승역의 개수를 토지이용 변수와 마찬가지로 이전 범위와 이후 범위로 나누어 독립변수로 설정하였다.

마지막으로 순환선인 2호선은 순환구조라는 네트워크 특성과 함께 서울의 3핵인 중구, 강남구, 영등포구를 모두 연결한다는 특징이 있어 이를 명목변수로 반영하였다(2호선 지선과 응암 순환 제외). 이상과 같이 설정된 회귀모형의 변수와 각각의 기술통계량은 표3, 4와 같다.

V. 분석결과

1. 모형의 설명력

표 4. 기술통계량
Table 4. Descriptive statistics

Var	N	Min	Max	Mean	σ	Unit
y	488	2.00	176.00	69.97	40.08	%
x_1	488	.017	2.66	1.64	.41	m^2/m^2
x_2	488	.017	2.66	1.63	.41	m^2/m^2
x_3	488	.09	1.00	.49	.15	m^2/m^2
x_4	488	.09	1.00	.490	.15	m^2/m^2
x_5	488	468	29715	7652.41	5547.68	No.
x_6	488	0	7	3.43	1.63	No.
x_7	488	0	7	3.43	1.58	No.
x_8	전체 488개 구간 중 순환선 87 구간 The number of Loop line is 87					

※토지이용 변수 $x_1 \sim x_4$ 는 모두 면적/면적으로 계산되었으며 네트워크 변수의 단위는 $x_5 \sim x_7$ 모두 개수로 산정되었음.

분석결과 본 연구의 회귀모형은 유의수준 1% 내에서 유의미한 것으로 나타났다. 수정된 R 제곱은 0.444로써 본 회귀모형은 도시철도 혼잡도 분산의 44%를 설명한다(표 5 참고).

표 5. 모형 요약
Table 5. Model summary

R	R^2	$Adj.R^2$	S.E. of the Estimate	Sig.
.673	.453	.444	29.77	.000

2. 독립변수의 영향력

1) 토지이용 관련 변수

표6은 모형에 반영한 독립변수의 영향계수 추정 결과이다. 비 표준화 계수는 각 독립변수가 한 단위 변할 때 차내 혼잡도의 평균적인 변화를 나타낸다. 분석 결과 토지이용 측면의 독립변수 중 ‘이전 토지이용밀도’는 유의미하지 않게 나타났으며, ‘이전

표 6. 회귀 계수 추정결과
Table 6. Coefficient estimates

구분	비표준화 계수 Unstandardized Coeff.		표준화 계수 Standardized Coeff.	t	유의확률 Sig.	공선성 통계량 Collinearity Statistics	
	B	표준오차 Std. Error	β			공차 Tolerance	VIF
(상수) Const.	-6.830	11.155		-6.12	.541		
이전 토지이용밀도 Previous density	x_1 1.353	4.834	.014	.280	.780	.479	2.088
이후 토지이용밀도 Next density	x_2 26.77***	4.796	.270	5.582	.000	.494	2.026
이전 비주거 비율 Previous ratio	x_3 -43.74**	16.878	-.152	-2.592	.010	.338	2.960
이후 비주거 비율 Next ratio	x_4 100.70***	13.561	.373	7.426	.000	.458	2.183
매개중심성 Betweenness	x_5 .001***	.000	.165	4.144	.000	.728	1.374
이전 환승역수 Prev. transfer st.	x_6 -4.898***	1.380	-.199	-3.549	.000	.369	2.711
이후 환승역수 Next transfer st.	x_7 2.723**	1.350	.107	2.017	.044	.411	2.432
순환선 여부 Loop line	x_8 -3.560	5.197	-.034	-6.85	.494	.460	2.172

*: p-value<0.1, **: p-value<0.05, ***: p-value<0.01

비주거 비율’, ‘이후 토지이용밀도’, ‘이후 비주거 비율’은 모두 유의수준 1% 내에서 유의미하였다.

이후 토지이용 밀도와 비주거 비율이 높을수록 구간의 혼잡도가 높다. 토지이용 밀도와 비주거 비율이 높다는 것은 해당 지역이 업무상업 지역일 가능성이 크다는 것을 의미한다. 이는 상업지역의 상한 용적률이 주거지역보다 높고, 주거용 토지 공급에 제한이 있기 때문이다. 즉 토지이용 밀도와 비주거 비율이 높은 지역일수록 오전 시간대 통행자들의 목적지로 이용되는 역일 가능성이 높으므로 그 지역으로 향하는 도시철도의 차내 혼잡도가 높다. 이는 공공, 업무, 상업과 같은 비주거 용도의

토지이용이 혼잡도에 영향을 미친다는 Jang et al.(2012) 연구결과와 같으며 본 연구의 가설을 뒷받침하는 결과이다. 더불어 비주거 토지이용만 중요하다고 확인하였던 기존연구에 비하여, 전체 토지이용 강도의 중요성과 비주거 비율의 영향력을 추가로 제시하였다.

반면 ‘이전 비주거 비율’은 혼잡도에 음의 영향을 미친다. ‘이전 비주거 비율’의 표준화 계수 β 는 다른 유의미한 토지이용 변수의 표준화 계수보다 작다. 이는 ‘이전 비주거 비율’의 영향력이 이후 범위의 토지이용 변수보다 낮음을 의미한다. 비주거 비율은 주거비율과 음의 상관관계가 있다(Pearson

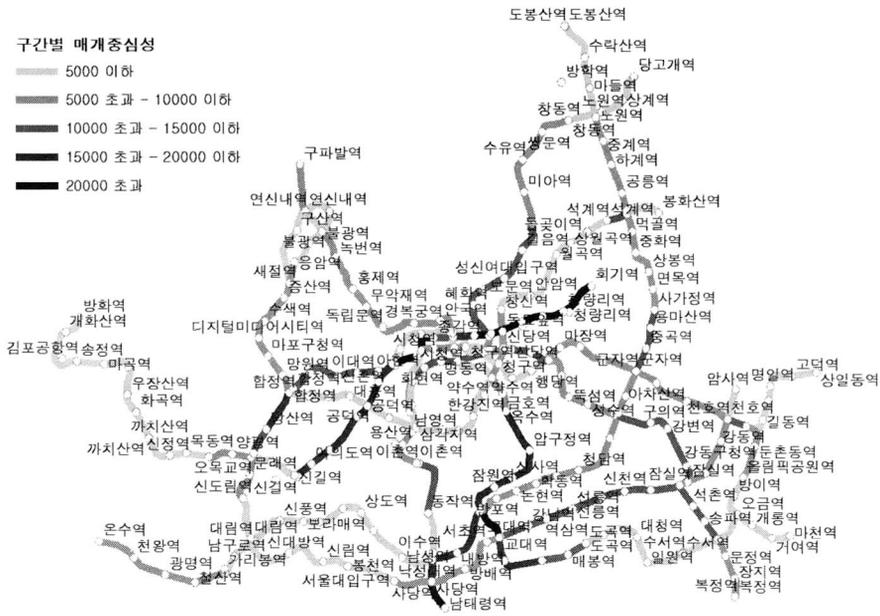


그림 4. 서울 도시철도 구간별 매개중심성
Figure 4. Betweenness centrality by edges between metro stations in Seoul

상관계수 -0.96 , 유의수준 1% 이내). 이를 고려하면, 이전 용도의 비주거 비율의 영향력이 낮게 나타난 이유는 통행자들의 출발지가 10개역의 범위보다 더욱 분산되어 있기 때문으로 판단한다. 반면, 이후 비주거 비율이 유의미하고 그 영향력이 크게 나타난 것은 통행자들의 목적지가 특정 지역에 집중되어 있기 때문으로 해석할 수 있다. 즉, 출발지(주거지)는 분산되어 있으나 목적지(비주거지)는 집중되어 있기 때문에 유의미한 변수가 다르게 나타난 것이다. 따라서 토지이용계획 수립 시 혼잡도를 완화하기 위해서는 오전 시간대 통행자들의 출발지로 이용되는 토지이용의 변화를 통해 조정하기보다는 목적지로 이용되는 토지이용을 분산시킴으로써 더욱 효과적인 계획이 가능하다.

가장 표준화 계수가 큰 변수는 ‘이후 비주거 비

율’(x_3)이다(0.364). 이를 통해 도시철도가 앞으로 거쳐 갈 역들의 비주거 비율이 전체 토지이용 밀도보다 혼잡도에 더 큰 영향을 미치는 요인임을 알 수 있다. 즉 이후 범위에서 전체적인 토지이용 강도보다 주거/비주거의 혼합 정도가 혼잡도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2) 네트워크 관련 변수

도시철도 네트워크 관련 변수는 기존의 연구와 비교하여 본 연구를 차별화시키고 있다.

매개중심성은 인접한 역에 승하차하지 않는 장거리 통행자의 영향을 변수로 반영한 것이다. 회귀분석 결과 매개중심성이 높은 구간일수록 혼잡도가 높은 것으로 나타났다(유의수준 1% 내). 매개중심성이 높다는 것은 이용자가 임의의 두 도시철도 역

사이를 최단거리로 이동하기 위해 해당 구간을 이용할 가능성이 높음을 의미한다. 따라서 매개중심성이 높은 구간일수록 인접지역의 토지이용과 관계없이 해당 구간을 거쳐 가는 이용자가 많아서 혼잡도가 높을 것이다. 그림 4는 서울 도시철도 구간의 매개중심성 분포를 나타낸다. 앞의 혼잡도 분포(그림 2, 3)와 비교함으로써 매개중심성과 혼잡도가 모두 높은 구간들이 있음을 확인할 수 있다. 이러한 구간에 있는 역들에 대해서 혼잡을 완화하고자 해당 역으로 향하는 추가 노선을 만든다면 매개중심성이 더욱 높아지기 때문에 해당 구간의 혼잡도가 높아질 수 있다.

한편으로 이는 혼잡을 완화하기 위해 토지이용 측면의 접근법뿐만 아니라 노선증설 등 교통 측면의 접근법도 중요하다는 것을 의미한다. 즉, 혼잡을 완화하고자 혼잡구간에 있는 역에 다른 노선을 증설하기보다는 매개중심성을 분산시키도록 노선을 변화시킨다면 해당 구간을 이용하는 통행자를 다른 구간으로 분산시킴으로써 혼잡을 완화하고 도시철도의 이용 효율을 높일 수 있다.

환승역의 영향을 분석한 결과 '이전 범위의 환승역 수'는 유의수준 1% 내에서 유의미하며 '이후 범위의 환승역 수'는 유의수준 5% 내에서 유의미하게 나타났다. '이전 범위의 환승역 수'가 많을수록 해당 구간의 혼잡도는 낮다. 이는 이전 범위의 환승역이 많을수록 해당 노선구간을 이용하기 전에 다른 노선으로 유출되기 때문으로 해석된다. 엄진기 외(2012)는 인천 도시철도 1호선을 대상으로 오전 첨두시 혼잡도 수준과 환승역의 영향을 분석한 결과 환승역에 가까울수록 혼잡이 심함을 보였다. 본 연구에서도 마찬가지로 이후 범위의 환승역이 많을수록 혼잡도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 환승역을 이용하기 위해 해당 구간을 이용하는 이용자가 있기 때문이라 판단하였다. 마지막으로 순환선 여부에 대한 명목변수는 유의미하지 않은 것으로

나타났다.

VI. 결론

특정 구간에 집중된 이용수요는 혼잡을 유발하며 이는 도시철도 이용과 운행에 부정적인 영향을 미친다. 따라서 효율적인 도시철도 운영을 위해 차내 혼잡도를 고려하여 이용 수요를 분배하는 것이 매우 중요하다. 본 연구는 이러한 문제의식을 바탕으로 도시철도의 혼잡도에 영향을 미치는 요인을 실증적으로 규명하고자 하였다. 이를 위하여 기존연구에서 도시철도 차내 혼잡도에 영향을 미치는 것으로 확인된 토지이용 특성을 중심으로 네트워크 특성의 영향을 추가로 고려하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 각 도시철도 구간의 '이전 범위의 비주거용도 토지이용 비율', '이후 범위의 전체 토지이용 밀도'와 '이후 범위의 비주거용도 토지이용 비율'이 해당 구간을 운행하는 차내 혼잡도에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 가장 영향력이 큰 변수는 '이후 범위의 비주거용도 토지이용 비율'이다. 이를 바탕으로 역세권에 출근 시간대 통행자들의 목적지로 이용되는 용도의 건축물이 추가될 경우 해당 역으로 향하는 도시철도의 차내 혼잡도가 높아질 수 있다. 그동안의 역세권 개발은 도시철도 이용률을 높이려는 목적에서 모든 역을 동일하게 취급하며 개별 역 단위로 개발이 이루어져 왔다. 그러나 앞으로의 역세권 개발은 혼잡 구간 단위로 차내 혼잡도를 고려하여 혼잡도를 완화하면서 도시철도의 이용을 높이는 방향으로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 혼잡한 구간이 집중된 지역의 역세권에 대해 출근 시간대에 목적지로 이용될 수 있는 용도의 개발 대신 비첨두시간대에 목적지로 이용될 수 있는 토지이용의 입지를 증가시키는 것이 해당 역세권의

토지이용 밀도를 변화시키지 않으면서 높은 혼잡도로 인한 부의 효과를 완화하는 방법이다.

둘째, 네트워크 요인보다 토지이용 요인이 차내 혼잡도에 더 큰 영향을 미친다. 그러나 토지이용 요인을 이용하여 혼잡도를 조절하기 위해서는 계획 수립에서 실행까지 긴 시간과 큰 비용이 든다. 대신 네트워크 요인은 노선 증설, 경전철과 같은 다른 수단의 추가적인 연계를 통하여 토지이용 요인보다 즉각적인 효과를 얻을 수 있다.

셋째, 매개중심성은 혼잡도에 유의미한 영향을 미친다. 따라서 도시철도 노선의 변경은 매개중심성에 영향을 주고 이는 전체 도시철도 차내 혼잡도에 영향을 미친다. 따라서 차내 혼잡도가 높고 매개중심성이 높은 구간은 높은 매개중심성을 분산할 수 있도록 버스와 경전철 등을 활용한 교통 정책이 필요하다. 그동안 역세권은 도시철도 이용률을 높이기 위해 중심성이 높은 곳, 즉 잘 연결된 지역일수록 고밀도로 개발되어왔다. 그러나 분석결과에서 유추할 수 있듯 이는 도시철도의 차내 혼잡도를 높임으로써 오히려 이용과 운영에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 네트워크 중심성과 차내 혼잡도를 고려하여 역세권 개발계획을 수립하여야 한다.

기존의 선행연구는 혼잡도를 완화하려는 방안으로 노선확충, 시설 설계 측면의 대안을 제시하였으나 본 연구는 도시철도 네트워크의 특성과 더불어 도시공간구조 측면의 요인이 영향을 미침을 제시한 것에 그 의의가 있다. 연구 모형의 설명력이 높지 않기 때문에 혼잡도를 예측하는 목적으로 이용할 수는 없으나, 모형이 통계적으로 유의미하고, 유의미한 변수들을 도출하였으므로 혼잡 원인을 설명하는 데는 의미가 있다. 본 연구의 결과는 차후 차내 혼잡도를 고려한 교통계획, 도시계획의 수립을 위한 기초연구로 활용될 것으로 기대된다.

주1. 경원본선, 경부본선, 경인선, 경부고속본선, 병점기

지선, 장항선, 일산선, 과천선, 안산선, 9호선, 인천국제공항철도, 중앙선, 경춘선, 경의선, 분당선, 수인선, 신분당선 등을 제외하였다.

- 주2. 도시철도 혼잡도 현황은 강영경 외(2012)에서 이용된 자료와 방법을 바탕으로 도표를 수정하고 내용을 추가하였다.
- 주3. 서울 도시철도 하루 평균 승승인원은 1~8호선의 승승실적으로 바탕으로 평균값을 산정하였다. 수단분담률은 각 지자체에서 산정한 값을 이용하였다. 인천 도시철도의 수단분담률은 인천 도시철도 1호선과 경인선, 공항철도를 포함한 것이며, 부산은 김해경전철을 포함한 수단분담률이다.
- 주4. 공간위계별로 통행자들의 접근 범위는 다르며 이를 모형에 반영하는 것이 모형의 설명력을 높일 수 있을 것이다. 그러나 일정 시간이 지난 후 공간위계에 변화가 발생할 경우 동일 구간에 대해 동일 범위를 적용하지 못하므로 이전 연구결과와 비교할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 가구통행실태조사를 바탕으로 한 평균 통근거리를 통행자들의 다양한 통행범위를 대표할 수 있는 지표로 삼아 모든 구간에 대해 동일하게 적용하였다.
- 주5. 역별로 실질적인 역세권 공간범위가 다르므로 이를 고려한다면 모형의 설명력은 더욱 높아질 것이나, 200개가 넘는 서울시 개별 역의 실질적 역세권 공간범위를 정하는 것은 본 연구의 방향과 다르며 검증 또한 어렵다. 500m 기준에 대해서는 이견이 많으나 "서울특별시 도시계획 조례"에 명시된 범위이므로, 향후 서울시 정책에 반영시킬 것을 염두에 두고 이 범위를 택하였다.
- 주6. 결절점 V와 결절점들을 잇는 구간 E로 구성된 네트워크 G(V, E)가 있을 때, 임의의 구간 e의 매개중심성(betweenness centrality)을 산정하는 식은 다음과 같다(Hashimoto et al. 2009).

$$BC(e) = \sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V \setminus \{v_i\}} \sigma_{v_i v_j}(e) \quad (3)$$

여기서 $\sigma_{v_i v_j}(e)$ 는 네트워크 내에 있는 임의의 두 결절점 v_i, v_j 를 잇는 최단 경로 중 구간 e를 통과하는 최단 경로의 수이다.

인용문헌

References

- 1. 강영경·고주연·이승일, 2012. "서울시 도시철도의 첨두시간대 차내 혼잡도의 공간적 분포 패턴 연구", 「2012 대한국토·도시계획학회 추계학술대회 논문집」, 부산:경성대학교.
- Kang, Y. G., Go, J. Y. and Lee, S., 2012. "A

- Study on Spatial Distribution Pattern of Crowding Level of Metro during Rush Hour in Seoul”, *Proceedings of the Korea Planners Association 2012 Autumn Conference*.
2. 김채만, 2011., 경기도 광역버스 운영효율화 방안, 경기개발연구원, 경기.
Kim, C. M., 2011. *Improvement of Crowded Bus System between Seoul and Gyeonggi*, Gyeonggi Research Institute, Gyeonggi.
 3. 박경철·김대호·지우석·빈미영, 2011. “안전한 대중교통 만들기”. 「이슈&진단」, 20:1-25.
Park, K. C., Kim, D. H., Zhee, W. S. and Bin M. Y., 2011. “Construction of a Safe Transit”, *Issue & Diagnosis*, 20: 1-25.
 4. 박준환·신성일·임용택·임강원, 2007. “통합거리비례요금제와 차내혼잡을 반영하는 통합대중교통망 통행배정 모형 구축”, 「대한교통학회지」, 25(2): 133-143.
Park, J. H., Shin, S. I., Lim, Y. T. and Lim, K. W., 2007. “Development of Transit Assignment Model Considering an Integrated Distance-Based Fare System and In-Vehicle Congestion”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 25(2): 133-143.
 5. 신성일, 2013. “서울시 교통부문 변동요금제 도입방안”, 「정책리포트」, 139:1-19.
Shin, S. I., 2013. “Implementing Dynamic Pricing of Transportation Sector in Seoul”, *Policy Report*, 139: 1-19.
 6. 안영수, 2013. “토지이용 교통모델 기반의 수도권 기업입지모델 개발 연구”, 서울시립대학교 대학원 박사학위논문.
An, Y. S., 2013. “A Study on the Development of a Long-term Firm Location Model based on Land use-Transport Model in Seoul Metropolitan Area”, Ph.D. Dissertation, University of Seoul..
 7. 엄진기·최명훈·김대성·이준·송지영, 2012. “스마트카드 데이터를 활용한 도시철도 서비스 평가”, 「한국철도학회논문집」, 15(1): 80-87.
Eom, J. K., Choi, M. H., Kim, D. S., Lee, J. and Song, J. Y., 2012. “Evaluation of Metro Services based on Transit Smart Card Data (A Case Study of Incheon Line 1)”, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(1): 80-87.
 8. 오석문, 2005. “서울시 혼잡 지하철역의 승하차 시간 분석”, 「한국철도학회 2005년도 춘계학술대회논문집」 경기 의왕: 한국철도대학.
Oh, S. M., 2005. “An Analysis of the Passenger Flow Time in the Congested Subway Stations”, *Proceedings of the Korean Society for Railway 2005 Spring Conference*.
 9. 이창효, 2012. “토지이용-교통 상호작용을 고려한 주거입지 예측모델 연구 -DELTA의 활용을 중심으로-”, 서울시립대학교 대학원 박사학위논문.
Yi, C., 2012. “A Study on Residential Location Choice Model in Consideration of Land-use Transport Interaction Using DELTA”, Ph.D. Dissertation, University of Seoul..
 10. 조성근·송정훈·정일봉·박정수, 2013. “서울지하철 2호선 혼잡도 완화방안 기초연구”. 「한국철도학회 2013년도 춘계학술대회논문집」 강원도 평창군: 용평리조트.
Cho, S. K., Song, J. H., Jung, I. B. and Park, J. S., 2013. “A study on the way how to mitigate congestion on Seoul subway Line 2”, *Proceedings of the Korean Society for Railway 2013 Spring Conference*, 193-203.
 11. 최창규·구자훈·이승일·김태현·성현근, 2012. “서울시 역세권개발 역사, 현황 그리고 전망”, 「도시정보」, 367: 3-19.
Choi, C. G., Koo, J. H., Lee, S., Kim T. H. and Sung, H. G., 2012. “History, Present and Prospect on the Development of Railway Station Areas in Seoul”, *Urban Information Service*, 367: 3-19.
 12. Calthorpe, P. 1993. *The next American metropolis: Ecology, community, and the American dream*, New York: Princeton Architectural Press.
 13. Cantwell, M., Caulfield, B., O'Mahony, M., 2009. “Examining the factors that impact public

- transport commuting satisfaction”, *Journal of Public Transportation*, 12(2): 1-21.
14. Cox, T., Houdmont, J., Griffiths, A., 2006. “Rail passenger crowding, stress, health and safety in Britain”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(3): 244-258.
 15. Daniels, R., and Mulley, C., 2013. “The Paradox of Public Transport Peak Spreading: Universities and Travel Demand Management”, *International Journal of Sustainable Transportation*, 7(2): 143-165.
 16. Freeman, L. C., 1977. “A set of measures of centrality based on betweenness”, *Sociometry*, 40(1): 35-41.
 17. Jang, S., Go, J., Lim, H., and Lee, S. 2012. “An Analysis on the Congestion of the Seoul Metropolitan Subway Considering the Land-use Pattern of the Area of the Adjacent Stations”, The International Symposium on Urban Planning, Taipei: National Chengchi University.
 18. Kraus, M., 1991. “Discomfort externalities and marginal cost transit fares”, *Journal of Urban Economics*, 29(2): 249-259.
 19. Lin, T., Wilson, N.H.M., 1992. “Dwell time relationships for light rail systems”, *Transportation Research Record*, 1361: 287-295.
 20. Lundberg, U., 1976. “Urban commuting: crowdedness and catecholamine excretion”, *Journal of Human Stress*, 2(3): 26-36.
 21. Prud'homme, R., Koning, M., Lenormand, L., and Fehr, A. 2012. “Public transport congestion costs: The case of the Paris subway”, *Transport Policy*, 21: 101-109.
 22. Puong, A., 2000. *Dwell Time Model and Analysis for the MBTA Red Line*, MIT's Open Course Ware Project.
 23. Raveau, S., Muñoz, J.C. and de Grange, L., 2011. “A topological route choice model for metro”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(2): 138-147.
 24. Tirachini, A., Hensher, D. A., and Rose, J. M. 2013. “Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 53:36-52.
 25. Wardman, M., Whelan, G.A., 2011. “Twenty years of rail crowding valuation studies: evidence and lessons from British experience” *Transport Reviews*, 31(3): 379-398.
 26. Wegener, M., Gnad, F. and Vannahme, M. 1986. *The Time Scale of Urban Change in Hutchinson, B. and Batty, M. (Eds.): Advances in Urban Systems Modelling*, Amsterdam: North Holland.
 27. Wegener, M., 1995. *Accessibility and development impacts in David Banister (Eds.): Transport and Urban Development*, London: E&FN Spon.
 28. Hashimoto, T., Nagasaki, M., Kojima, K., and Miyano, S. 2009. “BFL: a node and edge betweenness based fast layout algorithm for large scale networks”, *BMC bioinformatics*, 10(1):19-31.

논문투고	2013-07-31
1차 심사완료	2013-10-15
수정일	2013-10-26
2차 심사완료	2013-11-19
수정일	2013-12-02
3차 심사완료	2013-12-31
수정일	2014-01-03
게재확정일	2013-12-31
최종본접수	2014-01-03