

첨두시간 도시철도 혼잡 개선을 위한 통행자 경로변경 행태분석 연구

원동진¹ · 박신행² · 조신행^{3*}

¹서울시립대학교 교통공학과 석사과정, ¹서울시립대학교 교통공학과 부교수,

³서울시립대학교 교통공학과 연구교수

Research on Passenger Route Change Behavior Model Improving Urban Railway Congestion during Peak Periods

WON, Dongjin¹  · PARK, Shin Hyoung²  · CHO, Shin-Hyung^{3*} 

¹Master's Course, Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

²Associate Professor, Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

³Research Professor, Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

*Corresponding author: shcho@uos.ac.kr

Abstract

This paper aims to precisely evaluate the value of transportation elements solving the congestion problem of urban railways during peak hours. We propose a new model for introducing an appropriate fare discount system by deriving optimal commuting alternatives reflecting congestion levels. An SP (State Preference) survey has been conducted targeting users of metropolitan public transportation during peak hours to choose between existing trips and alternative trips. The survey data have been employed to estimate parameters based on stand density criteria; and the values of travel variables are evaluated by deriving and analyzing a homogeneity model using Binary Logit Regression (BLR). In the descriptive statistics, 88% of respondents used map applications to choose their travel routes, and 64% responded that they would change their travel method, applying for a fare discount. Additionally, the survey respondents' sociodemographic characteristics and travel behaviors were analyzed in detail, and applicable models were subdivided based on the characteristics of commuters on congested routes, presenting them by group. Through the analysis of the survey results, the sensitivity to travel factors was examined using the coefficients of variables, and different model outcomes were obtained for each group. Travel characteristics are classified into Scheduled Arrival Travel (SAT) and Unscheduled Arrival Travel (UAT). The significant differences are found, especially in congestion, from the result of a homogeneity model. These findings suggest that the introduction of MaaS and the provision of discounted costs suitable for the characteristics of congested travel routes can significantly impact on the choice of travel alternatives.

Keywords: binary logit regression, mobility-as-a-service, public transit, route choice behavior, state preference survey

초록

본 논문은 피크시간대 도시철도 혼잡문제를 해결하기 위한 교통변수의 가치를 정밀하게 평가하고, 혼잡도를 반영한 최적의 출퇴근 대안을 도출하여 적절한 요금할인제도 도입을 위한

J. Korean Soc. Transp.
Vol.42, No.4, pp.494-502, August 2024
<https://doi.org/10.7470/jkst.2024.42.4.494>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 30 June 2024

Revised: 18 July 2024

Accepted: 14 August 2024

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under
the terms of the Creative Commons Attribution
Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>)
which permits unrestricted non-commercial use,
distribution, and reproduction in any medium,
provided the original work is properly cited.

새로운 모형을 제안하고자 한다. 피크시간대 수도권 대중교통 이용자를 대상으로 기존의 통행과 통행대안 중 하나를 선택하기 위해 잠재선호 설문조사를 실시하였다. 혼잡도 조사 결과 데이터는 입석밀도 기준으로 모수를 추정하였고, 이항로짓모형(Binary Logit Regression; BRL)을 사용한 동질성 모형을 도출 및 분석하여 통행변수의 값을 평가했다. 통행행태 조사에서는 88%의 응답자가 통행선택을 위해 지도 어플을 이용하였고, 64%의 응답자가 요금할인이 있을 경우 통행 방법을 변경할 것이라고 응답했다. 또한 설문 응답자의 인구사회학적 특성과 통행행태를 세분화하여 분석하였고, 혼잡도로 통근자 특성에 따라 적용 가능한 모형을 세분화하여 그룹별로 제시하였다. 설문결과 분석을 통해 변수의 계수를 통해 통행요인에 대한 민감도를 살펴보고, 그룹별로 상이한 모형 결과를 얻었다. 통행특성은 도착시간이 지정된 통행(SAT)과 도착시간이 지정되지 않은 통행(UAT)으로 분류하고, 동질성 모형을 이용하여 도출 및 비교한 결과 특히 혼잡도에서 유의한 차이를 보였다. 이 결과는 MaaS의 도입과 혼잡한 통행경로 특성에 적합한 할인 비용 제공이 통행대안 선택에 유의한 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

주요어: 이항로짓모형, MaaS, 대중교통, 경로선택행태, 잠재선호 설문조사

서론

최근 국내외에서 개인 차량 증가로 인해 교통혼잡 증가, 환경오염 발생 등의 다양한 문제가 발생하고 있다. 서울시는 통행자들에게 서비스와 편의성을 제공하여 대중교통의 수요를 증가시키기 위해 무제한 대중교통 정기권인 기후동행카드를 도입하였고, 국토부는 지자체와 함께 교통수단을 하나로 연결하는 Mobility-as-a-Service (MaaS)를 민간과 협력하여 추진하고 있다. 이러한 노력들이 성공적으로 정착된다면 수도권 장래 대중교통의 수단분담률은 더욱 증가할 전망이다. 하지만 수도권은 도시화의 지속적인 심화로 인해 인구 밀집도가 50%까지 증가하였으며, 코로나 팬데믹 이전인 2019년 서울시 도시철도의 수단분담률은 41.6%로 매년 증가하는 추세였다. 이에 따른 첨두시간대 높은 대중교통 혼잡도가 승객에게 제공되는 서비스의 질을 저하시키고 있으며, 승객이 많은 노선에서는 인명사고가 발생하는 등 안전 문제도 심각하게 대두되고 있다. 이에 따라 서울시는 대중교통 혼잡도를 분산하기 위해 2015년 6월부터 오전 06시 30분 이전 탑승객에게 20%의 요금할인을 해주는 조조할인 정책을 시행하였으나 효과는 미미했다.

하지만 수도권에는 2023년 기준으로 645개의 도시철도역과 12,585개의 버스정류장이 존재하며, 다양한 통행 방식이 가능해졌다. 실시간으로 대중교통의 혼잡도 정보를 제공하는 플랫폼이 도입되어, 특히 평일 오전 첨두시간에는 통행 패턴이 비슷해 혼잡도 예측이 가능해졌다. 이러한 배경 속에서, 향후 도입 예정인 MaaS 어플을 통해 통행 방법과 통행 비용을 설정하고, 혼잡도가 낮은 경로에 요금할인제도가 도입된다면, 혼잡도를 분산에 도움이 될 것으로 예상된다.

본 연구의 목적은 교통 변수의 가치를 정밀하게 평가하여 혼잡 상황을 반영한 최적의 대안 통행을 도출하고, 적절한 요금 할인제도를 도입함으로써 첨두시간의 도시철도 혼잡 문제를 해결하는 새로운 모형을 제안하는 것이다. 이를 위해 사회인구학적 특성과 통행행태를 파악하기 위한 설문조사를 실시하고, 이항로짓모형(Binary Logit Regression; BLR)을 통해 정밀하게 분석함으로써 각 그룹의 통행 패턴과 선호도를 이해하고자 한다.

선행연구 고찰

본 장에서는 대중교통에서 경로선택에 영향을 미치는 변수와 설문조사 데이터 분석 방법론에 대한 문헌 검토를 수행하였다. 잠재선호 설문조사 특성은 응답자가 실제로 실제 통행을 경험하지 않고 경로 선택 선호도 결정 요인에 대한 민감도가 그에 따라 편향될 수 있다. 현시선호 설문조사를 사용하면 통행자의 실제 선택에 대한 더 큰 통찰력을 얻을 수 있다는 이점이 있지만, 현시선호 연구는 비용이 많이 들고 문헌에서 훨씬 덜 사용된다(Anderson et al., 2017). 잠재선호 설문조사를 활용한 이전 연구에서 개인 및 가구의 사회인구학적 통계가 통행 경로 선택에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 구체적으로 성별, 소득, 고용상태는 통행방식 결정에 영향을 미친다(Bhat, 1997; Bhat and

Sardesai, 2006). 경로선택 시 환승관련 변수들의 가치를 추정한 결과, 환승시간은 차내시간에 비해 1.0-2.0의 한계 대체율을 가지며 환승횟수는 10.0-15.0의 한계대체율을 가진다(Yang and Shon, 2000). 수도권 조조할인 정책을 평가한 연구에서는 현재의 할인율(14-20%)이 피크 시간대 승객의 출발 시각을 10분 이내로 앞당기는 데 그치고 있으며, 조조할인 운영시간과 오전 피크시간대 간의 시간차가 30분으로 부족한 상황이라고 평가하였다(Lee et al., 2023).

일반적으로 대중교통은 저렴한 교통 서비스 제공 및 교통 혼잡 완화에 효과적인 교통수단으로 여겨졌으나, COVID-19 팬데믹 이후 혼잡저항으로 인해 선택을 꺼려하는 수단이 되었다. 설문조사를 통해 팬데믹 전후 대중교통의 혼잡저항을 비교하여 행동 변화를 분석한 결과, 팬데믹 이후 혼잡 측정치는 1.04-1.23배 증가했으며, 지하철 승객이 버스 승객보다 혼잡을 더 염려한다는 점이 밝혀졌다(Cho et al., 2021). 통행자는 질병에 대한 두려움(Fear of Disease; FD), 대중교통 선호(Transit Preference; TP), 시간 민감성(Time Sensitive; TS), 자동차 선호(Auto Preference; AP) 4가지 유형의 그룹으로 분류하였다. 다항 로짓 모형을 이용해 통행 모드가 있는 경로 선택을 추정하기 위해 요인 분석을 통해 이들 4개 그룹을 식별하고 분류하였다. 각 통행자 그룹은 서로 다른 사회인구학적 특성을 가지고 있었으며, 경로와 교통수단 선택에서 행동적 차이를 보였다. 연구의 주요 결과는 통행선택에 있어 FD 그룹이 전염병에 노출되는 것을 우려하는 반면, TS 그룹은 이동 시간에 민감하고 전염병에 대한 우려가 적다는 것이다. 따라서 다양한 통행 그룹을 대상으로 전염병 이후 대중교통 이용을 촉진하기 위해 서로 다른 정책을 채택해야 함을 시사한다(Cho et al., 2024). 연령 측면에서는 팬데믹 이후 노년층이 젊은 성인보다 혼잡의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 구체적으로, 두 연령 그룹 사이에 혼잡저항은 앉은 자세에서 39%, 서 있는 자세에서 27% 차이가 있었다. 또한, 지하철 승객은 다른 교통수단에 비해 혼잡으로 인해 더 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다(Hong et al., 2024).

선행연구를 통해 다음과 같은 시사점들을 도출하였다. 첫째, 성별, 소득, 고용상태 등 개인 및 가구의 사회인구학적 특성이 경로 선택 및 통행방식 결정에 큰 영향을 미친다. 둘째, 환승시간과 환승횟수가 차내시간보다 높은 한계 대체율을 가지며, 환승의 불편함이 통행자에게 큰 영향을 미친다. 셋째, 기존에 시행 중인 수도권 조조할인 정책의 경우, 현재의 할인율과 운영시간이 피크 시간대 승객의 출발 시각 조정에 충분하지 않다. 넷째, COVID-19 팬데믹 이후 대중교통 이용에 대한 우려가 증가하였으며, 특히 지하철 승객이 버스 승객보다 혼잡상태를 더 염려한다.

본 연구는 지하철 승객이 다른 교통수단에 비해 혼잡에 민감하다는 점을 반영하여, 지하철 통행자를 대상으로 경로변경 행태분석을 시행하려고 한다. 사회인구학적 특성인 통행자의 성별 및 소득별로 통행에서 발생하는 불편 요소인 환승 및 혼잡을 통행변수로 고려하여, SP조사를 통해 경로 선택 및 통행방식 결정에 어떤 영향을 미치는지 살펴보고자 한다.

방법론

본 연구는 대중교통 이용자가 통행대안을 선택함으로써 발생하는 변수들의 가치를 추정하는 것으로, 통행 경로 선택에 대한 개별 통행자의 선호행태를 분석하여 도출하였다. 통행자들의 통행경로 선택에 대한 메커니즘을 파악하기 위해서는 이산 선택 모형(Discrete Choice Model)을 주로 적용한다. 이산 선택 모형은 두 개 이상의 대안 세트에서 어떤 선택을 하는지 설명 혹은 예측하는데 사용되며, 개별적인 옵션 집합에 직면했을 때 사람들은 최대 이익이나 효용의 옵션을 선택한다고 가정한다.

1. 설문조사 설계 및 모수추정

설문은 2023년 12월 첨두시간 대중교통 이용객 449명을 대상으로 온라인에서 시행하였다. 개인당 30개의 통행 경로를 선택하여 총 13,470개의 선택 결과를 가졌으며, 유효하지 않은 선택결과를 제외한 9,510개의 선택 결과로 분석하였다. 설문조사는 대안에 대한 설문 응답자의 변수별 효용을 추정하기 위해 잠재선호조사 형태로 진행되었다. 잠재선호 조사란 가상의 상황을 제시하고, 개인의 의사결정을 유도함으로써 심리적으로 내재되어 있는 개인의 선호, 의식, 의향 등을 조사하는 기법으로 이때의 가상적인 상황은 그 대안에 영향을 미치는 설명변수 즉, 서비스나

특성으로 표현된다(Lee, 2009). 설명변수는 지도 어플에서 제공할 수 있는 변수인 걷는 시간, 차내시간, 혼잡도, 통행수단, 환승, 할인요금으로 설정하였고, 두 가지의 경로선택 상황을 제시하여 하나를 선택하는 설문문항을 다음 Figure 1과 같이 구축하였다.



Figure 1. Example of survey

설문응답자의 통행은 혼잡도가 혼잡상태인 도시철도를 기존통행으로 이용한다고 가정하였으며, 해당 모형의 변수인 걷는 시간, 차내시간, 할인요금은 선형의 형태를 가진다고 가정하였다. 걷는 시간, 차내시간, 할인요금 변수는 정량적이고, 통행수단은 버스통행, 버스와 도시철도로 변경에 대한 이진화(Binarization)가 가능하기 때문에 이항 로짓모형 분석을 위한 모수 설정이 가능하다. 환승 또한 최대 1회로 설정하여 이진화가 가능하다. 통행대안의 걷는 시간과 차내시간은 기존 통행 대비 동일하거나 증가한다고 가정하였으며, 증가하는 단위는 3수준(0분, 10분, 20분)으로 설계하였다. 통행대안의 할인요금은 4수준(-100원, -200원, -300원, -400원)으로 설계하였다. 통행수단은 이진화를 통해 도시철도 통행은 0, 버스 통행은 1로 설정하였고, 환승으로 인해 두 가지 통행수단을 모두 이용하는 경우는 통행수단의 차내시간 비중을 기준으로 모수를 설정하였다.

하지만 혼잡도는 도시철도와 버스 기준의 통합이 필요하기 때문에 적합한 모수 설정이 필요하다. 혼잡도의 기준은 버스의 경우 Figure 2, 도시철도의 경우 Figure 3과 같이 설문지를 설계하였으며, 해당 기준 평균 인원 상태의 입석밀도를 기준으로 모수를 설정하였다. Lee et al.(2002)에 따르면 도시철도의 혼잡도에 따른 입석승객 밀도는 Table 1과 같으며, 본 연구에서 설정한 혼잡도의 입석밀도는 선형 보간법을 활용하여 산정하였다. 기존통행으로 설정한 혼잡상태인 도시철도는 혼잡도가 150% 이상이며, 승차한계인 230%의 중간값인 190%를 기준으로 좌석에 앉을 수 있는 34%를 차감하여 입석밀도를 산정하였다. 이외 대안통행의 도시철도 입석밀도 또한 동일한 방식으로 산정하였다. Lee(2021)에 따르면 인가된 버스의 입석가능면적은 평균 약 7.5m²이다. 혼잡도가 여유 상태인 버스는 모든 승객이 좌석에 앉을 수 있는 상태로 입석밀도는 0이다. 혼잡도가 보통 상태인 버스는 사용할 수 있는 손잡이가 존재하는 경우로, 시내버스의 손잡이 개수는 14개이다. 따라서 입석인원은 중간값인 7명으로 설정하였다. 혼잡도는 혼잡상태를 차내시간동안 느끼기 때문에 차내시간 변수와의 독립성이 떨어진다. 따라서 입석밀도에 차내시간을 분할하여 분석하였다. 설문조사에서 설계된 변수와 수준은 Table 2에서 정리하였다.

Congestion level	Number of people	Congestion status diagram
Relaxed	<p>Number of people ≤ Number of seats</p> <p>The degree to which all passengers can theoretically sit</p>	
Normal	<p>Number of seats < Number of people ≤ Number of seats + Number of handles</p> <p>The degree to which one cannot sit on a seat but can hold an empty handrail</p>	
Congested	<p>Number of people > Number of seats + Number of handles</p> <p>The degree to which passengers can't sit on seats and there are no empty handrails</p>	

Figure 2. Bus congestion standards

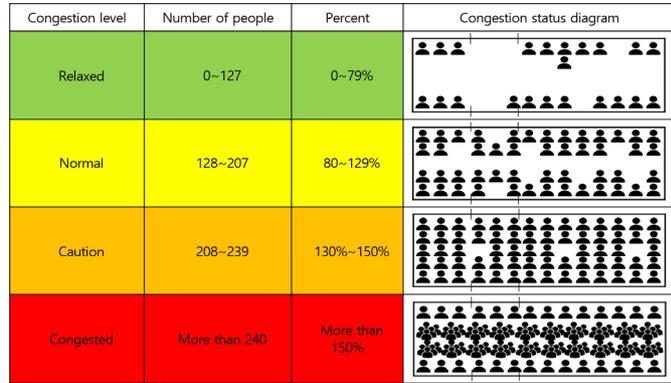


Figure 3. Metro congestion standards

Table 1. Standing density

Congestion(%)	100	150	200	240
Standing density(ppl/m^2)	2.9	5.0	7.2	9.0

Table 2. Setting of variables and levels

Variable	Variable type	Levels
In vehicle time difference (min)		0, 10, 20
Walk time difference (min)		0, 10, 20
Congestion difference ($ppl/m^2/min$)	Standing density	Metro (Congested) 6.74 $D_a/IVT_a - D_c/IVT_c$
		Metro (Caution) 4.58
		Metro (Normal) 3.07
		Metro (Relaxed) 0.26
		Bus (Normal) 0.93
		Bus (Relaxed) 0
Mode change	Bus	0, 1
	Bus&Metro	0, 1
Transfer		0, 1
Discount cost (won)		-100, -200, -300, -400

2. 이항로짓모형

본 연구에서는 잠재선호조사를 실시하여 얻은 데이터를 바탕으로 이항로짓모형 분석을 수행하였다. 이러한 분석은 선택 가능한 여러 대안 중 하나를 선택하는 상황에서 그 선택 확률을 예측하는 모형으로, 독립변수가 선형임을 이용하여 사건의 발생 가능성을 예측하는 분석방법이다(Hosmer and Lemeshow, 2000). 다음 Equation 1은 기존통행과 대안통행의 변수 차이를 통해 구할 수 있는 효용함수의 수식이고, Equation 2는 종속 변수가 두 가지 범주만 가지는 이항 로짓 모형에서 통행 대안 선택 확률을 보여주는 수식이다.

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 WT + \beta_2 IVT + \beta_3 CNG + \beta_4 Bus + \beta_5 Bus \& Metro + \beta_6 TRF + \beta_7 Discount \tag{1}$$

$$P_{choice=1} = \frac{\exp(V_i)}{1 + \exp(V_i)} \tag{2}$$

V_i	: 경로 i의 효용함수
β_i	: 변수의 계수
WT	: 걷는 시간 차이(분)
IVT	: 차내시간 차이(분)
CNG	: 혼잡도 차이($ppl/m^2/min$)
Bus	: 버스로 통행수단 변경
$Bus \ \& \ Metro$: 버스와 도시철도 이용
TRF	: 환승
$Cost$: 할인요금(원)
$P_{choice=1}$: 대안선택확률

결과분석

효과적인 요금할인 제도의 도입을 위해서는 다음의 가정이 필요하다. 첫째로 경로선택에 있어서 지도 어플 활용이 높아야 한다. MaaS 도입 시 어플을 통한 통행방법이 주어져야만 해당 모형을 도입한 요금할인 제도의 이용이 가능하다. 둘째로 할인요금에 따른 통행방법 변경 의사가 높아야 한다. 기존 통행을 고집하는 통행자가 많을수록 통행변경을 이끌어내기 어렵다. 해당 두 가지 가정을 설문을 통해 조사한 결과, 설문 응답자 중 약 88%는 통행방법을 설계할 때 지도 어플을 활용하고 있었으며, 약 64%는 할인요금에 따른 대중교통 통행방법 변경 의사가 있었다. 설문 응답자는 효과적인 요금할인 제도를 위한 두 가정에 대해 긍정적이게 나타났다.

1. 통행행태별 동질성 모형 분석

이 연구의 분석 결과에 따르면, 동질성 모형 Table 3에서 모든 통행 변수는 1% 수준에서 통계적으로 유의미하다는 것이 확인되었다. 계수가 모두 음수로 나타나도록 설계된 이 모형은 모든 계수의 부호가 올바르다는 것을 보여준다. 본 연구에서는 지정된 도착시간이 존재하는 통행을 SAT(Scheduled Arrival Travel), 지정된 도착시간이 없는 통행을 UAT(Unexpected Arrival Travel)로 구분하여 분석하였다. 설문조사는 설문 응답자가 경로선택을 할 때 SAT인 경우와 UAT인 경우를 각각 고려하여 설계되었다. 분석 결과, SAT에서는 걷는 시간이 차내시간보다 더 민감하게 반응하였으며, 반대로 UAT에서는 차내시간이 걷는 시간보다 더 민감하게 반응하였다. 따라서 통행대안을 설정할 때, 출근으로 인해 SAT가 많은 오전 첨두시간에서는 차내시간을 늘리는 것이 혼잡도를 분산시키기에 유리하고, UAT가 많은 오후 첨두시간에는 걷는 시간을 늘리는게 혼잡도를 분산시키기에 유리하다고 해석된다. 이는 UAT에서는 SAT와는 달리 도착시간이 정해져 있지 않기 때문에, 걷는 행위에 대한 부담이 상대적으로 적다는 것을 추론할 수 있다. 통행수단에 대한 분석에서는 SAT와 UAT에서 모두 설문 응답자들이 버스보다 도시철도를 선호한다는 결과가 나타났다. 이는 Table 4와 같이 설문 응답자 중 도시철도를 선호하는 인원이 버스보다 두 배 이상 높다는 결과가 모형의 신뢰성을 뒷받침한다. 하지만 도시철도와 버스를 동시에 이용하는 경우는 버스만 이용하는 경우보다 민감하게 나타났다. Park et al.(2012)에서 수단 간 환승을 버스 간, 도시철도 간, 타 수단간 환승으로 구분하여 환승 저항감에 따른 모수를 추정한 결과, 도시철도 간 환승은 -0.2659 , 버스 간 환승은 -0.3155 , 타 수단 간 환승은 -0.7539 로 타 수단 간 환승의 저항감이 가장 높은 것으로 분석되었다. 해당 모형은 환승 변수만으로 설명할 수 없는 수단 간 환승에 대한 저항감으로 높은 민감도가 나타난 것으로 추측된다. 마지막으로, 수단 간 환승에 대한 분석에서는 기존 연구에서 발견된 저항감을 모수로 적용하였을 때, 이 변수가 모형에서 높은 유의성을 가진다는 것이 확인되었다.

Table 3. Homogeneity model (Binary Logit Regression)

Variable	SAT			UAT		
	Estimate	Std.	T-stat	Estimate	Std.	T-stat
In vehicle time (min)	-0.0864***	0.012	-7.024	-0.1022***	0.013	-7.895
Walk time (min)	-0.1088***	0.018	-6.098	-0.1039***	0.014	-7.495
Discount cost(won)	-0.0048***	0.001	-6.257	-0.0040***	0.001	-6.142
Congestion reduce	-3.3856***	0.891	-3.799	-7.5536***	1.285	-5.880
Bus	-0.6344***	0.175	-3.635	-0.6827***	0.191	-3.572
Metro & bus	-1.1273***	0.179	-6.287	-1.2424***	0.219	-5.684
Transfer	-0.9920***	0.153	-6.465	-1.1484***	0.186	-6.173
Number of observations		5,269			4,241	
Degree of freedom		6			6	
Log-likelihood		-3,580.5			-2,847.7	

significance level : ***<0.01, **<0.05, *<0.1

혼잡도 변수를 제외한 SAT 모형과 UAT 모형의 계수(estimate)의 최대변화율은 차내시간 변수에서 변화율이 18.31%로 가장 높았고, 이는 두 모형 결과의 유사함을 보여준다. 하지만 혼잡도 변수의 변화율은 223.17%로 다른 변수들과 압도적인 다른 차이를 보여주었다. 이는 통행자들이 UAT인 경우 혼잡도에 민감도가 높다는 것을 나타내며, 혼잡도가 낮은 경로로 통행자들을 유도하기 위한 요금 할인 정책은 특히 UAT가 많이 발생하는 오후 첨두시간에 더욱 효과적일 수 있음을 시사한다.

Table 4. Preferred travel mode

Mode	Persons	Rate(%)
Metro	285	63.5
Bus	129	28.7
No matter	35	7.8

2. 사회인구학적 특징을 포함한 동질성 모형 분석

Table 5에서 사회인구학적 특징을 포함하여 동질성 모형으로 분석한 결과, 10% 유의수준에서 SAT에서는 성별 변수가 통계적으로 유의미하지 않게 나타난 반면, UAT에서는 유의미하게 나타났다. 이는 성별이 SAT에서는 유의미한 변수가 아니지만, UAT에서는 유의미한 변수라는 것을 시사한다. 성별 변수의 모수는 남자인 경우 0, 여자인 경우 1로 설정하여 모형에 적용하였고, UAT의 경우 여성일수록 통행 경로의 변경을 유도하기 더 쉽다고 나타났다. 수입 변수는 5% 수준에서 통계적으로 유의하게 나타났으며, 수입이 많은 사람일수록 통행변경을 유도하기 더 쉽다고 나타났다.

Table 5. Homogeneity model (Gender, Income)

Variable	SAT			UAT		
	Estimate	Std.	T-stat	Estimate	Std.	T-stat
In vehicle time (min)	-0.0862***	0.012	-6.999	-0.1076***	0.013	-8.245
Walk time (min)	-0.1033***	0.018	-5.721	-0.1048***	0.014	-7.535
Discount cost(won)	-0.0042***	0.001	-5.135	-0.0025***	0.001	-3.620
Congestion reduce	-2.5980***	0.974	-2.668	-5.5156***	1.333	-4.139
Bus	-0.6511***	0.175	-3.722	-0.7938***	0.193	-4.110
Metro & bus	-1.1089***	0.180	-6.172	-1.1103***	0.220	-5.037
Transfer	-1.1089***	0.154	-6.548	-1.3339***	0.190	-7.006
Gender	-0.058	0.056	-0.104	0.2417***	0.062	-3.900
Income	0.0513**	0.022	2.333	0.1095***	0.023	4.711
Number of observations		5,269			4,241	
Degree of freedom		8			8	
Log-likelihood		-3,577.7			-2,830.4	

significance level : ***<0.01, **<0.05, *<0.1

결론

도시철도의 침두시간 혼잡은 승객 안전에 위협을 초래할 수 있으며, 혼잡을 감소시키기 위해서는 통행을 적절히 분산시키는 것이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 조조할인 제도를 개선하고 이상적인 대안 경로를 위한 적절한 할인을 제공함으로써 보다 효율적인 혼잡분산을 이룰 수 있음을 밝히기 위해 잠재선호 설문조사를 수행하여 이항로짓모형 분석에 기반한 모형을 구축하였다.

지정 도착시간이 있는 통행과 없는 통행의 변인에 따른 민감도 차이를 분석한 결과, 특히 혼잡도에서 양자 간에 높은 차이의 민감도를 보였다. 또한 SAT에서 걷는 시간의 증가가 차내시간보다 더 민감하게 나타났고, UAT에서는 차내시간 증가가 걷는 시간 증가보다 더욱 민감하게 나타났다. 이는 요금할인제도에서 비교적 SAT가 많은 오전 침두시간과 UAT가 많은 오후 통행시간의 모형을 다르게 적용하여 효용이 더욱 높은 대안통행을 찾고, 모형에 맞는 적절한 요금을 제시한다면 더 효율적인 정책의 실현이 가능하다는 것을 보여준다. 또한 사회인구학적 특성인 성별 및 수입에 따른 분석 결과, UAT에서 여성이 남성보다 통행을 변경하기 쉽다고 나타났고, 수입이 높을수록 통행변경을 이끌어내기 쉽다고 분석되었다. 이는 통행구간의 사회인구학적 특성을 파악하여 해당 모형을 적용한다면, 더욱 적절한 요금할인정책의 실현이 가능하다는 점을 시사한다.

향후 연구에서는 혼잡도 데이터를 활용하여 혼잡한 구간에 대한 경로를 분석하고, 통행대안을 조사하여 효율적인 정책 수립을 위한 할인요금 및 혼잡도 분산 정도를 예측할 계획이다. 또한 혼잡한 통행 경로의 다른 특성들을 살펴 해당 경로에 적용한다면, 더욱 효과적인 대중교통 정책을 수립하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Funding

This research was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2024-00337626)..

알림

본 논문은 대한교통학회 제90회 학술발표회(2024.03.27-28)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

WON, Dongjin  <http://orcid.org/0009-0000-4703-9461>

PARK, Shin Hyoung  <http://orcid.org/0000-0003-3717-5907>

CHO, Shin-Hyung  <http://orcid.org/0000-0001-6499-1497>

REFERENCES

- Anderson M. K., Nielsen O. A., Prato C. G. (2017), Multimodal Route Choice Models of Public Transport Passengers in the Greater Copenhagen Area, *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(3), 221-245.
- Bhat Chandra R., Rupali Sardesai (2006), The Impact of Stop-Making and Travel Time Reliability on Commute Mode Choice, *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(9), 709-730.
- Bhat CR (1997), Work Travel Mode Choice and Number of Nonwork Commute Stops, *Transp Res, Part B, Methodol*, 31(1), 41-54.

- Cho S.-H., Park H.-C. (2021), Exploring the Behaviour Change of Crowding Impedance on Public Transit due to COVID-19 Pandemic: Before and After Comparison, *Transportation Letters*, 1-8.
- Cho S.-H., Park H.-C., Choo S., Park S. H. (2024), How Crowding Impedance Affected Travellers on Public Transport in the COVID-19 Pandemic, *Transportation Research, Part F, Traffic Psychology and Behaviour*, 100, 69-83.
- Hong S.-Y., Cho S.-H., Park H.-C. (2024), Behavioral Differences between Young Adults and Elderly Travelers Concerning the Crowding Effect on Public Transit after the COVID-19 Pandemic, *Research in Transportation Economics*, 106, 101463-101463.
- Hosmer D. W., Lemeshow S. (2000), *Applied Logistic Regression*, 2nd Edition, Newyork: John Wiley and Sons, 7-20.
- Lee D.-K., Koh Y. H., Kwon J.-W. (2002), The Establishment of Train Operation Plan in Railway System, *J. of the Korean Soc. for Rail.*, The Korean Society for Railway, 929-936.
- Lee G.-A. (2009), Stated Preference Survey Method, *Transportation Technology and Policy*, 6(3), Korean Society of Transportation, 205-208.
- Lee H., Choi C.-W., Cho S.-H., Park H.-C. (2023), Pre-peak Fare Discount Policy for Managing Morning Peak Demand of Interregional Bus Travel: A Case Study in Seoul Metropolitan Area, *Transportation Letters*, 1-10.
- Lee M.-H. (2021), A Study on Estimating the Value of Crowding Time in Seoul City-bus Using Smart Card Big Data, Ph.D Dissertation, University of Seoul. <http://www.riss.kr/link?id=T15756551>
- Park H.-C., Kim Y.-S., Gang S.-P., Kho S.-Y. (2012), A Study of Difference Between Intramodal and Intermodal Transfer Penalties, The 60th Conference of KST, Korean Society of Transportation, 555-560.
- Yang C.-W., Shon E.-Y. (2000), Estimation of Transfer Related Values of Seoul Subway Users Using Stated Preference and Revealed Preference Analyses, *J. Korean Soc. Transp.*, 18(4), Korean Society of Transportation, 19-30.