

통행거리별 행태 차이를 반영한 교통존 기반의 지역 간 교통수단선택 모형의 개선

이기택¹ · 김익기² · 심재엽^{3*} · 김지혜³

¹한국개발연구원 전문연구원, ²한양대학교 교통물류공학과 교수, ³한양대학교 교통물류공학과 박사수료

Improvement of Zone-based Regional Transportation Mode Choice Model Reflecting Behavioral Difference by Travel Distance

LEE, Kitaeg¹ · KIM, Ikki² · SHIM, Jaeyeob^{3*} · KIM, Jihye³

¹Researcher, The Korea Development Institute, Sejong 30149, Korea

²Professor, Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

³Ph.D Candidate, Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

*Corresponding author: jaeyeob0407@hanyang.ac.kr

Abstract

The demand forecasting for rail has been analyzed with zone-based OD data at macroscopic level analysis, and two type of transportation mode choice model are separately applied for national-wide analysis and metropolitan area analysis each by using the zonal OD data in South Korea. This zone-based analysis has fundamental limitations due to the spatial aggregation. It cannot analyze the various effects according to the traveler's individual attributes on the mode choice behavior, which is inevitable limitation of the zone-based analysis in aspect of forecasting accuracy. However, the zone-based analysis is unavoidable for analyzing large-scale areas such as the national-wide area or metropolitan area. Therefore, this study aims to build a transportation mode choice model with improved accuracy of the model than the currently used model within limitations of the zone-based analysis. In particular, the study tried to reflect travel time and service frequencies of various transit modes between an OD pair into the traveler's behavior model in a more realistic way. The suggested model can explain the phenomenon that the travel time differently affects the traveler's mode choice behavior by the travel distance. This study also was performed to verify logically that the proposed model explains more realistically the choice behavior by testing the value of time and elasticity. A case analysis was included to show how the analysis results may vary depending on the mode choice model to be applied.

Keywords: macroscopic traffic policy analysis, mode choice model, travel behavior, travel distance, zonal data

J. Korean Soc. Transp.
Vol.38, No.5, pp.346-360, October 2020
<https://doi.org/10.7470/jkst.2020.38.5.346>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 9 January 2020

Revised: 18 February 2020

Accepted: 8 September 2020

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.

초록

우리나라에서 수행되는 철도부문의 교통수요예측은 교통존 기반의 자료와 분석 지역에 따른 교통수단선택 모형으로 분석되고 있다. 하지만 교통존 기반의 분석은 통행자의 개별 속성에 의한 다양한 효과 분석을 수행할 수 없고 집합화 자료에 의한 분석의 정확성이 떨어질 수밖에 없는 등 공간적 집합화의 기본적인 한계점을 가지고 있다. 이러한 한계점에도 불구하고 대규모 교통시설 분석에는 집합화 분석이 활용되고 있다. 본 연구는 교통존 기반 집합화 분석의 한계 내에서 변수 추가 및 변형하면서 예측 정확성을 향상시킬 수 있는 교통수단선택 모형을 개발하고자 하였다. 세분화된 통행시간과 철도의 배차횟수 변수를 적용하여 모형을 보다 현실적으로 묘사하였다. 통행시간을 통행거리별로 구분하고 대기시간과 접근시간으로 세분화하여 교통수단 선택행태에 다르게 영향을 주는 현상을 모형에 반영하였다. 또한 제안 모형의 논리적인 현실 설명력을 검증하기 위해 시간가치와 탄력성 분석을 수행하였다. 결과적으로 통계적 분석과 논리적 검증 분석을 통해 제안 모형이 기본 모형보다 개선됨을 확인하였다. 통행행태가 반영된 교통수단선택 모형의 예측 정확성에 대한 필요성을 확인하기 위해 사례분석도 수행하였다. 이는 교통수단선택 모형의 선정에 따라 교통정책 의사결정에 중요한 영향을 줄 수 있다는 것을 보여줬다.

주요어: 거시적 교통정책 분석, 수단선택모형, 통행행태, 통행 거리, 집합화 자료

서론

통행자의 교통수단선택 행태는 일반적으로 통행자의 속성, 교통수단이 제공하는 서비스 수준, 통행자의 통행목적에 따라 영향을 받은 것으로 알려져 있다. 하지만 가구통행실태조사의 경우, 이용한 교통수단과 그 교통수단의 속성만 조사하고 이용하지 않은 대안 교통수단에 대한 속성은 조사하고 있지 않다. 선택 가능한 모든 대안 교통수단의 속성 자료가 없어 대안 교통수단별 속성과 선택수단 자료를 필요로 하는 교통수단 모형 정산 작업을 어렵게 하고 있다. 교통존 기반의 거시적 교통수요예측을 위해서는 방대하게 넓은 지역의 표본조사와 모집단의 예측이 필요로 하게 된다. 하지만 막대한 비용과 시간이 투입되고 개별단위의 표본자료가 수집되어 예측모형이 정산되었다 하더라도 개별 통행자의 개별 속성을 예측하는 것은 불가능하다. 장래 예측 시에는 개별 통행자의 통행 특성이 사라진 유사집단의 집합화를 통한 예측(Classification approach)을 하게 된다. 조사된 개별 자료가 있더라도 현재와 미래에 대한 자료의 한계로 인해 거시적 교통정책 분석을 위한 수요패턴 예측에 적용하기에는 어려운 상황이다. 철도 및 간선도로 건설사업과 같이 대규모 교통시설의 건설계획에 있어서는 개인 통행자들의 섬세한 행태 파악 보다는 교통시설에 대한 총량적 이용규모에 더 관심이 갖게 된다. 따라서 교통존 단위로 집합화된 교통수단별 OD통행량으로 교통시설 투자정책과 같은 거시적 교통정책들이 분석되고 있다.

집합화된 OD자료의 이론적 한계성이 존재하고 있다는 점을 인지할 필요가 있다. 교통수단선택 로짓모형과 같이 비선형적 모형의 경우에는 Jensen's inequality 원리에 따른 공간적 집합화 오차(Aggregation error)가 존재하는 이론적 문제점을 갖고 있다. 또한 공간적인 집합화 뿐 아니라 개별 통행자들의 속성도 집합화 됨에 따라 통행자들의 개별 속성을 모형에 반영하지 못하는 한계점이 있다. 이런 이론적 한계에도 불구하고 교통수요를 분석하기 위해서는 교통존 단위로 공간 및 개별 속성의 집합화를 통해 자료수집과 예측이 가능하도록 단순화하여 분석해야만 하는 것이 현실적 상황이다. 현재 교통수요분석 자료를 배포하고 있는 한국교통연구원의 교통수단선택 모형들은 집합화된 통행시간과 통행비용을 적용하고 물리적인 요소인 철도역 터미, 터미널 터미, 비도시지역 터미 등을 일부 지역에서 활용하고 있다. 교통수단선택 모형의 이론적 한계성 내에서 우리나라 실무적 교통정책에 적용되는 모형의 현실 묘사력과 예측 정확성을 향상시키는 것이 필요하다.

분석 대상의 철도 사업이 단거리 철도 건설과 기존 철도 시설을 통해 운행계획이 길어지는 경우 혹은 도시 내 통행과 지역 간 통행의 기능을 동시에 역할을 할 경우 모형 적용의 애로사항이 존재한다. 단순히 사업 지역에 따라 분석 자료가 선택되며 통행의 특성에 대한 구분 없이 동일한 교통수단선택 모형 형태가 적용되고 있다. 많은 선행연구

에서 통행거리의 크기에 따라 개별 통행자의 교통수단선택 행태에 차이가 난다는 점을 서술하고 있다. 교통수단선택에 있어 도시 통행과 지역 간 통행에서 통행목적에 따라 단거리, 중거리, 장거리별로 그 선택행태에 차이가 있다는 점이 설명되고 있다. 그러나 교통존 기반의 교통수단선택 모형은 통행자의 개별 속성을 반영하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 실질 분석에 반영 가능한 추가적 교통서비스 속성들을 모형 정산에 반영하여 모형 설명력을 향상시키고자 하였다. 특히, 교통수단선택 행태에 가장 크게 영향을 주는 통행시간을 통행의 특성에 따라 세밀하게 반영하였다. 교통수단선택 행태에 주는 영향을 통행거리별 통행시간 변수를 통해 모형을 정산하여 예측모형을 구축하였다. 추가적으로 통행시간을 차내시간과 차외시간으로 구분하여 통행 속성에 따라 통행자가 다르게 체감하는 선택행태를 반영한 모형을 제시하였다.

선행연구

거시적인 투자 및 계획의 의사결정을 위한 교통 분석에서는 집합적인 수요의 예측을 기반으로 하고 있는 것은 국내에서나 국제에서도 보편적인 방법이다(Ben-Akiva and Lermans, 1985). 국내외의 거시적 교통정책 실무적 분석에 교통존 단위로 공간적으로 자료를 집합화 분석하는 것은 일반적인 것으로 문헌에서 쉽게 볼 수가 있다(Forsey et al., 2013), (Zhang, 2004). 교통존 기반의 집합화 오차를 최소화하기 위하여 Kim et al.(2011)은 개별자료인 가구통행실태조사(2006년)자료를 활용하였다. 분석대상 규모에 따른 수단분담 모형을 구축하여 중권역과 소권역 단위의 적합도 및 적용성을 비교하였다. 교통존 기반의 거시적인 분석이 보편적으로 적용되고 있음에도 불구하고 교통존 단위 집합화 자료에 의한 교통수단선택 모형 정산에 관한 연구는 부족하다. 또한 개별자료 기반의 교통수단선택 모형에서는 통행시간 종류의 세분화 및 통행거리의 규모에 따른 행태 차이에 관한 연구가 있었어도 교통존 기반의 교통수단선택 모형에 대한 연구도 부족한 상태로 고려된다.

통행거리에 따라 통행자의 행태에 차이점이 있다는 점을 인식하고 그 행태적 차이를 실측 자료로 검증한 연구들이 있다. Lee et al.(2013)의 경우는 경부고속철도 2단계가 개통됨에 따라 해당 노선을 기준으로 각 통행거리별 비교우위에 있는 수단들을 파악하였다. 연구결과로 0-100km까지는 승용차 우위, 100-200km의 경우 항공 수단을 제외한 모든 수단의 경합, 200-400km의 경우 고속철도의 우위, 400-500km의 경우 항공수단과 고속철도의 경합, 마지막으로 500km 이상 되는 통행거리의 경우 항공 수단이 우위에 있다고 설명하고 있다. 또한 Cho et al.(2009)은 거리별 수단분담률과 해당 거리를 통행할 때 수단선택에 미치는 요소들을 설문조사로 비교하였다. 통행거리가 짧을수록 승용차를 선호하며 통행거리가 멀수록 철도를 선호한다는 사실을 도출해 통행거리별 통행수단이 달라진다는 것을 확인하였다. Moeckel et al.(2015) 역시 단거리 통행에 대비한 장거리 통행에 초점을 둔 연구를 수행하였다. 대다수의 교통수단선택 모형이 도시, 짧은 거리에 초점을 두었던 것과 달리 이 연구에서는 주 전역(Statewide) 및 먼 지역 간(Mega-regional) 교통계획을 분석할 수 있도록 장거리 통행에 대한 연구에 초점을 두고 분석하였다. Georggi and Pendyala(2000)도 한 가구 평균 7회/년 이상 장거리 여행을 한 것으로 조사되었으며, 총 가구 중 20%의 가구가 5-10회의 장거리 여행 경험을 가진다는 점에 관심을 갖고 통행거리가 통행 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 일정 거리(약 80km)를 기준으로 거리별 통행자의 행태를 분석한 결과, 노인과 저소득층의 경우 다른 사회경제집단에 비해 장거리 통행의 비율이 낮다고 분석하였다. Limtanakool et al.(2006)은 중거리 및 장거리 통행에 있어 철도 교통수단의 기능이 점차 더 중요할 것이라고 판단하였으며, 그 장거리 통행의 기준을 50km로 설정하였다.

통행거리 및 통행목적에 따라 교통수단선택 행태가 다르다는 점을 인식하여 도시 통행과는 다른 지역 간 통행에 대해 분리하여 분석한 연구들도 있다. Bel(1997)은 지역 간 철도 통행 수요에 대한 연구를 진행하였다. 철도 교통수단의 통행거리에 대한 영향에 초점을 두고 비집계 자료를 통해 통행시간의 변화에 따른 교통수단선택의 변화를 확인하여 통행시간은 철도 수요에 부정적인 영향을 주는 것을 연구하였다. Sung et al.(2014)은 통행자가 장거리 통행의 교통수단선택에 영향을 주는 요인을 파악함으로써 승용차에 대한 과도한 의존을 줄여 현 사회의 문제점인 교통체증, 대기오염과 같은 사회적 문제와 비용을 감소시킬 방안을 연구하였다. 또한 장거리 통행에서 통행시간, 소득수

준, 철도역사의 접근성 등이 철도수단을 선택하는데 중요한 요소로 영향을 준다고 분석하였다.

통행거리의 규모 외에도 대중교통의 접근성도 교통수단선택 행태에 영향을 주는 중요한 요소라는 연구도 있다. Choi et al.(2014)은 통행거리별로 주 교통수단의 속도에 의한 총 통행시간의 절약 정도도 중요하지만 주 교통수단을 이용하기 위해 소요되는 접근시간도 교통수단 선택행태에 중요하다는 점을 강조하였다. 주 교통수단과 접근 교통수단의 속성을 모형에 반영하여 교통정책사업에 의한 교통수단 전환 통행량을 현실적으로 예측한 연구이다. Kim et al.(2005)은 개별 통행자의 자료를 이용하여 기존 개별 자료의 한계성을 극복하는 모형 정산 방법 연구를 수행하였다. 2001년 부산·울산권 가구통행실태조사 개별 자료를 이용하여 설문 시 선택된 교통수단의 속성 외의 선택되지 않은 대안 교통수단의 속성을 실측 자료에서 추정하여 개별 통행자 기반의 모형 정산을 통해 예측모형의 신뢰성을 보완하였다.

많은 기존 연구들은 개별적 통행자들의 교통수단선택 행태의 이해에 초점을 두었다면, 본 연구는 철도부문의 교통수요예측에 공식적으로 적용되고 있는 교통존 기반의 교통수단선택 모형의 정확성과 신뢰성을 높여 실무적 분석에 적용이 가능한 예측 모형을 개선하는데 초점을 두었다.

연구방법론

보편적으로 적용되고 있는 교통수단 대안으로 승용차, 버스, 철도의 수단에 대해 교통수단선택 모형을 분석하였다. 한국교통연구원에서 배포하고 있는 교통수단선택 모형은 통행시간, 통행비용, 다양한 더미변수로 정산된 모형을 광역권 및 전국권 모형을 배포하고 있다. 하지만 각종 더미변수의 영향력에 대한 문제점 해결과 수단전환량의 정확성을 높이기 위하여 철도부문의 교통수요예측에서는 점진적 로짓모형(Incremental logit model)을 활용한 분석을 권장하고 있다. 효용 극대화 이론을 근간으로 하며, 개인이 이용가능한 수단을 선택할 확률로 로짓모형의 수학적 모형식은 Equation 1과 같다.

$$P_{mi} = \frac{\exp(U_{mi})}{\sum_{c \in M} \exp(U_{ci})} \quad (1)$$

여기서, U_{mi} : 개인 i 가 수단 m 을 이용할 때의 효용 값

U_{ci} : 개인 i 가 이용 가능한 수단 c 를 이용할 때의 효용 값

P_{mi} : 개인 i 가 이용 가능한 모든 수단 중, 수단 m 을 이용할 때의 효용 값

1. 모형 구축

한국교통연구원에서 공식 배포되는 교통수단선택 모형은 도시 및 지역 간 통행의 통행목적 차이, 교통수단선택 행태 차이점을 구분하기 위해 별도 모형을 구축하였다. 도시 통행은 광역권 자료에 대한 분석에 적용하고 지역 간 통행은 전국권 자료에 적용하도록 하고 있다. 자료에 의한 교통수단선택 모형을 구분할 경우 한계점은 존재한다. 분석의 공간적 범위가 도시 통행을 분석하지만 지역 간 통행을 배제할 수 없는 경우 혹은 지역 간 통행을 분석하지만 도시 통행을 배제할 수 없는 경우가 있기 마련이다. 현재 철도 교통수요분석에 적용되고 있는 기존 모형들은 통행거리에 상관없이 교통수단선택 행태에 동일한 영향을 준다는 가정 하에서 분석이 이루어지고 있다.

통행거리에 따라 대중교통의 주 교통수단의 통행시간과 접근 교통수단에 의한 접근 통행시간의 조합에 따른 총 통행시간이 각 교통수단마다 차이가 발생한다. 이런 차이에 대한 통행자의 행태적 결정이 다르다는 점에 초점을 두었다. 본 연구에서는 도시교통과 지역 간 교통에서의 통행거리별 영향을 모형 내에서 반영한 모형을 제시하였다. 통행거리라는 설명변수를 모형에 포함한다면 통행거리에 따른 통행 속성이 모형에 적용된다. 도시 및 지역 간 통행이

같은 분석 권역 내에서 함께 적용이 가능하게 되어 하나의 교통정책에 따른 도시교통과 지역 간 교통 체계의 영향을 함께 구분하여 반영할 수 있다. 본 연구에서 최적 모형으로 제시될 모형과 비교가 될 기본 모형은 통행비용과 통행시간의 설명변수만을 포함한 모형을 기본 모형으로 설정하였다. 교통수단선택 모형에 항상 공통적으로 포함되고 있는 변수이며 각종 더미변수는 제외하였다. 더미변수는 행정적 지역특성을 반영하는 더미변수, 철도역사의 존재 여부에 해당하는 더미변수 등 각 지역적 특성과 교통환경적 특성에 따라 다른 값이 나올 수가 있어 제외하였다.

또한 도시 통행을 구성하는 통행 목적과 지역 간 통행을 구성하는 통행 목적의 차이를 분리된 모형으로 묘사되는 것이 설명력을 높이는 방법이라 판단했다. 도시교통과 지역 간 교통의 선택행태를 설명하는 단거리 모형과 장거리 모형으로 구분하였으며 그 기준은 Limtanakool et al.(2006) 등의 선행연구를 바탕으로 50km를 경계치로 설정하고 분석을 수행하였다. Kanafani(1983)는 지역 간 통행목적은 친인척방문, 친구방문, 개인업무, 업무통행 목적으로 구분하였는데, 50km 이상의 통행들이 주로 이와 같은 통행목적으로 구성되어 있다고 판단된다. 다만, 단거리와 장거리를 구분하는 경계를 일률적인 수치로 구분하는 것은 정확한 구분 방법은 아니지만 비교적 반복되는 도시교통의 특성과 불규칙하게 간헐적으로 발생하는 지역 간 교통의 통행을 구분하는 필요성은 있었다.

도시교통 모형과 지역 간 교통 모형 내에서 교통수단선택 행태에 다르게 영향을 주는 경제적 거리를 찾고자 노력하였다. 경제 거리를 찾기 위해서 2개에서부터 그 이상의 구간에 대해 시행착오를 거치며 가장 통계적으로 우수한 통행거리 구분방법을 찾았다. 설명변수들의 다양한 조합과 함께 계수 값을 일반변수(Generic variable) 형태 혹은 대안특수변수(Alternative specific variable) 형태의 다양한 조합을 시도하면서 가장 통계학적으로 설명력이 높은 적합한 모형을 찾아가는 과정을 거쳤다.

2. 분석과정

전통적 교통수요추정 4단계 모형과 같이 단계적 분석의 경우는 각 단계별 모형이 수학적으로 다룰 수 있는 규모로 나뉘어 있지만 각 단계 간의 분석 결과 일관성을 달성하는데 어려움이 존재한다. 그럼에도 불구하고 현실적 계산의 한계성으로 단계적 분석이 국제적으로 사용되고 있다. 교통수단선택 모형의 입력 자료와 네트워크 분석 결과 간의 일관성을 완벽하게 맞추기 어렵다는 한계성을 인정하고 분석을 수행하였다. 그래서 네트워크의 분석 결과를 교통수단선택 모형의 입력 자료에 적용하는 1회의 순환(feedback) 분석만 시행하였다. 현재의 철도 교통수요예측에서도 분석의 단순함을 위해 순환 반복 분석하여 상위 단계의 입력 값과 하위 단계의 결과 값을 일치시키지 않는 상황이다.

통행자의 행태가 논리적이고 합당하게 묘사하고 있는가에 대한 검증은 예측모형을 선택 결정하기 위한 중요한 과정이다. 모형에 의한 추정치가 교통수단선택 행태를 얼마나 현실적으로 묘사할 수 있는지를 검증하여 보았다. 통행 거리에 따라 변화하는 설명변수가 통행자 교통수단선택 행태에 선형적 혹은 비선형적으로 영향을 주는지를 검토하며 통계학적 검증하였다. 그리고 금전적 단위로 표현되는 통행요금과의 대체효과로써 가장 보편적으로 사용하는 시간가치를 산출하여 기존연구 결과와 논리적 검토를 수행하였다. 또한 대체효과 외에도 각 변수의 변화가 교통수단선택 행태에 얼마나 민감하게 변화에 영향을 주는지를 분석하여 현실적 현상과 논리적으로 유사한가를 판단하기 위해 탄력성 분석도 수행하였다. 시간가치를 산출하는 수식은 Equation 2와 같고, 특정 교통수단의 특정 설명변수에 대한 해당 교통수단의 선택확률의 직접탄력성(Direct elasticity)을 계산하는 수식은 Equation 3과 같다.

$$VOT_m = \frac{\Delta V_{ij}^m / \Delta T_{ij}^m}{\Delta V_{ij}^m / \Delta C_{ij}^m} = \frac{\beta_{mT}}{\beta_{mC}} \quad (2)$$

$$e_{mmx_k} = X_{mk}(1 - P_m) \frac{\Delta V_{ij}^m}{\Delta X_{mk}} = X_{mk}(1 - P_m) \beta_{mk} \quad (3)$$

여기서, VOT_m : 교통수단 m 의 시간가치

e_{mmx_k} : 교통수단 m 의 효용함수 k 번째 설명변수 X 값에 대한 교통수단 m 의 선택확률 탄력성

X_{mk} : 교통수단 m 의 효용함수 k 번째 설명변수 X 의 값

P_m : 통행자가 교통수단 m 을 선택할 확률

β_{mk} : 교통수단 m 의 효용함수 k 번째 설명변수 X 에 대한 계수 값

분석을 위한 입력자료 구축

1. 기본자료의 설정

국내외의 철도 교통수요예측에서 모형의 정산과 예측 간의 자료 일관성은 중요한 요소이다. 모형 정산 시에 평균적인 혹은 확실하지 않은 관측 값을 적용하기보다는 교통존 OD간의 네트워크 분석 결과를 대표값으로 모형 정산에 사용하였다. 모형 정산과 예측에 동일한 기준에 따라 산출된 입력 자료를 적용할 때 예측의 정확성이 확보된다고 판단하여 네트워크 분석 결과를 각 교통수단 서비스 특성 자료에 적용하였다. 교통수단선택 모형의 정산과 예측에 사용된 입력 자료는 도로 및 대중교통 네트워크의 노선배정 시뮬레이션 분석 결과 값을 적용하였다. 분석의 결과 값들은 모두 네트워크 정산을 수행한 후 얻은 값을 사용하였다. 네트워크 시뮬레이션 결과를 입력자료로 사용함에 따라 과거, 현재 및 미래의 통행시간과 관련된 세부적 항목들을 로짓모형의 효용함수에 포함할 수 있게 되어 정교한 교통수단선택 행태를 모형에 반영할 수 있었다. 특히 대중교통 노선배정 분석을 통해 통행시간, 차내시간, 차외시간, 대기시간, 접근시간, 환승시간 등 통행시간을 구성하는 다양한 요소를 활용했다.

한국교통연구원에서 배포하고 있는 2013년도 기준, 2015년으로 현행화된 자료를 분석에 사용하였다. 기본적인 249개(울릉도, 제주도 제외) 교통존을 사례연구에 적용하기 위해 서울시 6개 구, 경기도 8개 시·군, 강원도 3개 시·군, 충청북도 4개 시·군, 경상북도 1개 시를 세분화하여 총 450개의 교통존을 대상으로 분석을 수행하였다. 교통수단선택 모형의 정산 분석에 활용한 450개 교통존간 OD통행 중 존내통행의 경우는 공간적 집합화로 인해 서비스 속성 및 분담률 자료가 존재하지 않으므로 분석에서 제외하였다. 마찬가지로 통행량이 존재하지 않는 제로셀(Zero-cell)도 제외하였다. 결과적으로 존내통행과 제로셀에 해당하는 OD쌍을 모두 제외하고 남은 총 170,360개의 OD쌍의 교통수단 분담률을 가지고 교통수단선택 모형 정산에 활용하였다. OD쌍 중에서도 교통존 간 직선거리가 50km 미만에 해당하는 OD쌍의 수는 55,730개이며, 50km 이상에 해당하는 OD쌍의 수는 114,630개가 모형 정산에 사용되었다.

2. 입력자료의 구축

승용차 통행시간은 도로 네트워크 자료에서 분석한 결과를 활용하였다. 버스 노선 네트워크는 너무 방대하고 노선체계가 수시로 변경되어 자료 구축이 어려워 공식 배포된 자료는 수도권 자료에서만 배포가 된다. 전국권 자료는 버스 노선 자료가 구축되어 있지 않아 버스 통행시간은 한국교통연구원에서 제시하는 방법인 승용차 통행시간 대비 비율로써 유추된 버스의 통행시간 값을 사용하였다. 또한 배포된 버스의 접근시간을 활용하여 대중교통 정류장과 전철역의 평균적 접근시간을 사용하였다. 버스의 대기시간은 국가교통DB의 여객교통시설물 이용실태조사상 버스 및 일반철도의 대기시간 차이는 크지 않으므로 철도 노선배정 결과에서 추정된 대기시간과 동일한 값을 사용하였다. 철도의 노선은 네트워크의 변화가 급격히 일어나지 않으며 노선의 규모도 방대하지 않은 관계로 한국 정부에서 비교적 정확한 네트워크 자료를 공식 배포하고 있다. 철도수단의 통행시간은 교통수요분석에 적용되는 모형인 최적 전략 대중교통 노선배정(Optimal Strategy Transit Assignment) 기법에 의한 분석 결과로 사용하였다. 철도수단의 접근시간은 각 교통존에서 역까지 평균 도보거리와 평균 버스속도를 고려하여 평균적 접근시간을 대표값으로 분석

에 적용하였다. 일반적으로 철도의 대기시간은 평균 대기시간의 개념으로 배차간격의 1/2로 적용하고 있다. 그러나 배차간격이 큰 경우 불합리하게 증가하는 대기시간이 분석에 적용되는 경우가 발생하여 대기시간에 대한 정확성이 떨어진다. 따라서 대기시간의 의미를 내포하면서도 실측치에서 가공된 값을 적용하기보다는 실제 운영되고 있는 값을 사용하는 것이 더 현상을 정확히 반영하는 것이라 고려하였다. 관측된 그대로의 값을 적용할 수 있는 단위 시간당 배차횟수를 대기시간의 개념을 대변하는 대체 변수로 사용하였다. Table 1과 같이 단위시간당(예: 하루 당)의 배차횟수를 직접 설명변수로 사용하였다. 모형 정산 과정에서 대기시간의 대체변수인 배차횟수 변수를 적용할 때에는 총 통행시간에서 대기시간을 제외한 시간을 적용하였다.

Table 1. Headway and waiting time by number of services per a unit time

Headway (min)	Waiting time (min)	Frequency (services/day)
999	499	1
270	135	4
60	30	18

승용차 통행비용의 경우 한국교통연구원에서 제시 및 적용하고 있는 기준을 참고로 승용차 통행비용을 추정하였다. 대중교통의 통행비용도 KTDB의 통행요금 산출방법을 준용하여 자료를 구축하였다. 본 연구에서 모형 정산 시에 어려웠던 점은 거리비례제 요금체계에 있어서 통행시간(통행거리)과 통행비용 변수 간에 상관관계가 높았다. 통행시간과 통행비용 변수에 대한 계수 값이 비논리적 부호가 나오거나 정책변수로 어떤 변수 하나도 삭제할 수 없는 상황에서 통계적 유의성이 없게 나오는 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위해 Cho et al.(2009)의 연구에서 통행비용은 통행거리가 멀어질수록 정성적인 요소에 의해 수단을 선택하며, 통행비용은 크게 작용하지 않는다는 점을 고려하여 체감함수인 로그함수를 적용하였다. 두 변수의 상관관계 문제를 해결하기 위해 OD간 전체 통행비용을 해당 OD간의 단위 거리 당 비용을 사용하여 상호 독립적인 관계를 갖도록 하였다. Equation 4와 같이 통행비용 변수를 출발·목적 교통존 간 직선거리로 나누어 줌으로써 통행비용을 단위 거리 당 통행비용으로 변수를 전환하였다. 이 변수를 모형 정산에 적용하여 그 통계학적 설명력을 검증하였다.

$$LCd_{ij}^m = \ln\left(\frac{C_{ij}^m}{d_{ij}}\right) \quad (4)$$

여기서, LCd_{ij}^m : 교통수단 m 의 교통존 i 에서 j 간 단위거리 당 통행비용 변수(원/km)의 자연로그 값

C_{ij}^m : 교통수단 m 의 교통존 i 에서 j 간 통행비용(원)

d_{ij} : 교통존 i 에서 j 까지의 직선거리(km)

교통수단선택 모형 정산 결과

1. 기본 모형 구축 결과

다양한 계수 값의 설정 형태를 시도하며 찾은 기본 모형은 다음과 같다. 기본 모형의 효용함수는 Equation 5의 효용함수 수식과 같으며, 그 정산한 모형의 통계학적 결과는 Table 2에 정리된 것과 같다. 기본 모형으로 선택된 모형을 도시교통 모형 1-1이라고 표시하였다.

$$\begin{aligned}
 V_{ij}^A &= \beta_1 C_{ij}^A + \beta_2^H TT_{ij}^A \\
 V_{ij}^B &= \beta_0^B + \beta_1 C_{ij}^B + \beta_2^H TT_{ij}^B \\
 V_{ij}^R &= \beta_0^R + \beta_1 C_{ij}^R + \beta_2^R TT_{ij}^R
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

여기서, V_{ij}^m : 교통존 i 에서 j 간 교통수단 m 의 효용 값
 C_{ij}^m : 교통존 i 에서 j 간 교통수단 m 의 통행비용(1,000원)
 TT_{ij}^m : 교통존 i 에서 j 간 교통수단 m 의 총 통행시간(분)
 A, B, R, H : 각각 승용차, 버스, 철도, 도로 교통수단을 나타내는 첨자

Table 2. Estimation results of urban basic model (Model 1-1, under 50km)

Variable	Parameter	Coefficient	Standard error	t-value
Constant				
	β_0^B	-1.1061	0.0301	-36.737
	β_0^R	-0.5970	0.0246	-24.242
C_{ij}^m	β_1	-0.1473	0.0108	-13.651
TT_{ij}^A, TT_{ij}^B	β_2^H	-0.0060	0.0007	-8.119
TT_{ij}^R	β_2^R	-0.1120	0.0006	-19.425
Number of data			55,730	
$LL(0)$			-61,207	
$LL(\beta)$			-56,052	
$-2[LL(0) - LL(\beta)]$			10,310	
ρ^2			0.0842	
Adjusted- ρ^2			0.0842	

최종적으로 선택된 50km 미만의 도시교통 모형의 교통수단별 통행비용 계수 값은 동일한 값을 갖게 되는 일반변수 형태가 적합한 것으로 분석됐다. 수단특성 상수(Constant)는 전체적인 OD을 포함하는 평균적 개념의 상수이며 통계적으로 유의한 결과로 도출됐다. 도로 교통수단인 승용차와 버스의 통행시간 변수는 동일한 계수 값을 갖고, 궤도 교통수단인 철도는 다른 계수 값을 갖는 대안특수변수 형태의 모형이 통계학적으로 가장 설명이 잘 되는 모형으로 분석됐다. 도시교통의 경우는 교통체증을 내포하고 있는 승용차와 버스의 선택과 정시성이 확보된 철도를 선택할 때 통행시간이 영향을 주는 정도가 다른 행태의 모형 정산 결과가 나온 것이라 고려된다. 모형 1-1의 효용함수 내 모든 설명변수에 대한 계수가 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의하며, 계수 값이 음의 부호로 나와 논리적으로 합리적인 결과가 나왔다. 모형의 전체적인 설명력을 나타내는 통계치인 값은 0.08로 비교적 낮게 나왔다. 비교적 낮은 Likelihood ratio index(ρ^2) 값은 전국권 자료의 교통존 크기가 시군구 단위로 50km 미만의 통행에 대한 정교한 행태 원칙을 표현하기에는 자료의 집합도가 크다. 자료의 특성상 모형의 전체적 설명력은 다소 떨어지는 통계적 분석 결과가 나온 것으로 추정된다. 하지만 대안특수변수를 포함하여 모든 설명변수에 대한 계수 값이 통계적으로 유의성이 매우 높게 분석됐다. 통행비용과 통행시간은 교통수단선택 행태에 유의성이 높게 나타나고 있어 예측모형으로써의 적용성은 있다고 고려된다.

50km 이상 거리 구간에 해당하는 지역 간 모형(모형 1-2)은 50km 미만의 도시교통 모형(모형 1-1)과 동일한 과정을 거치면서 통계학적으로 가장 설명력이 높다고 판단되는 모형을 구축하였다. 최종적으로 구축된 모형 1-2의 효용함수는 Equation 6과 같고 통계적 분석 결과는 Table 3과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{ij}^A &= \beta_1 LCd_{ij}^A + \beta_2^A TT_{ij}^A \\
 V_{ij}^B &= \beta_0^B + \beta_1 LCd_{ij}^B + \beta_2^T TT_{ij}^B \\
 V_{ij}^R &= \beta_0^R + \beta_1 LCd_{ij}^R + \beta_2^T TT_{ij}^R
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Table 3. Estimation results of regional basic model (Model 1-2, over 50km)

Variable	Parameter	Coefficient	Standard error	t-value
Constant	β_0^B	-0.7763	0.0206	-37.657
	β_0^R	-2.0771	0.0296	-70.220
LCd_{ij}^m	β_1	-1.9108	0.0444	-43.031
TT_{ij}^A	β_2^A	-0.0095	0.0004	-26.142
TT_{ij}^B, TT_{ij}^R	β_2^T	-0.0047	0.0004	-12.997
Number of data			114,630	
$LL(0)$			-125,885	
$LL(\beta)$			-90,647	
$-2[LL(0) - LL(\beta)]$			70,476	
ρ^2			0.2799	
$Adjusted - \rho^2$			0.2799	

통행비용과 통행시간의 높은 상관관계로 인하여 단위 거리 당 비용(원/km)으로 적용한 후에 논리적인 부호와 유효한 통계치로 분석됐다. 단위 거리 당 비용 변수를 직접 효용함수에 적용하는 것보다 자연로그 값을 이용하는 것은 단위 거리 당 요금이 한 단위 변할 때 효용 값에 항상 동일한 규모로 영향을 준다는 가정이 내포된 선형함수가 아니라 단위 거리 당 요금이 커질수록 한 단위의 영향이 점차 줄어드는 비선형적 함수 형태가 더 현실의 현상을 잘 설명하는 것으로 분석됐다. 도시교통 모형과 같이 통행비용 변수는 일반변수 형태가 적합하나, 통행시간 변수는 대안특수변수 형태가 적합한 것으로 분석됐다. 다만, 통행시간의 대안특수변수를 도로교통과 궤도교통수단으로 분류한 도시교통 모형과는 달리 승용차의 개별 교통수단과 버스, 철도의 대중교통수단으로 구분한 대안 특수 변수만이 적절한 계수 값 부호와 통계치 결과가 나왔다. 지역 간 교통 모형(모형 1-2)의 각 설명변수에 대한 계수가 모두 논리적 부호이며 그 통계적 유의성도 높게 분석 결과가 나와 교통수단선택 행태를 잘 설명하고 있다는 해석이 가능하다. 로 그우도함수 값이 0.28로 설명변수에 의해 28% 정도 설명력을 향상시켰다는 것을 의미한다.

2. 제안 모형 구축 결과

본 연구에서는 교통존 기반의 자료를 사용하는 한계점에서 네트워크 분석 결과로 다양한 설명변수 조합의 시도를 통해 통계적으로 가장 의미가 높은 모형을 찾고자 하였다. 기본 모형에서 확장된 모형으로 통행거리별로 다른 통행 행태를 반영하기 위하여 통행거리별 더미변수를 추가하고, 배차횟수를 버스와 철도의 대체변수로 적용하면서 통행 시간에서 대기시간은 제외하였다. 철도의 접근시간을 통행시간 변수에서 효용함수에 별도로 추가한 모형이 통계학 적으로 가장 적합한 것으로 분석됐다. 본 연구에서 선정된 제안 모형으로써 50km 미만의 도시교통 모형(모형 2-1)은 Equation 7과 같고 50km 이상의 지역 간 모형(모형 2-2)은 Equation 8이다. 모형 2-1과 2-2의 통계적 분석 결과는 Table 4와 5와 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{ij}^A &= \beta_1 C_{ij}^A + \beta_2^H TT_{ij}^A D_0 + \beta_3^H TT_{ij}^A D_{40} \\
 V_{ij}^B &= \beta_0^B + \beta_1 C_{ij}^B + \beta_2^H AIT_{ij}^B D_0 + \beta_3^H AIT_{ij}^B D_{40} + \beta_5 Freq_{ij} \\
 V_{ij}^R &= \beta_0^R + \beta_1 C_{ij}^R + \beta_2^R IT_{ij}^R D_0 + \beta_3^R IT_{ij}^R D_{40} + \beta_4 Acc + \beta_5 Freq_{ij}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

여기서, AIT_{ij}^B : 교통존 i 에서 j 간 버스수단의 차내시간 및 접근시간(분)

IT_{ij}^R : 교통존 i 에서 j 간 철도수단의 차내시간(분)

D_0 : 통행 거리 0km 이상 40km 미만 더미변수(0km 이상 40km 미만=1, 아니면=0)

D_{40} : 통행 거리 40km 이상 50km 미만 더미변수(40km 이상 50km 미만=1, 아니면=0)

Acc : 평균 철도 접근시간(분)

$Freq_{ij}$: 교통존 i 에서 j 간 대중교통수단(철도)의 배차횟수

$$\begin{aligned}
 V_{ij}^A &= \beta_1 LCd_{ij}^A + \beta_2^A TT_{ij}^A D_{50} + \beta_3^A TT_{ij}^A D_{100} + \beta_4^A TT_{ij}^A D_{200} \\
 V_{ij}^B &= \beta_0^B + \beta_1 LCd_{ij}^B + \beta_2^T AIT_{ij}^B D_{50} + \beta_3^T AIT_{ij}^B D_{100} + \beta_4^T AIT_{ij}^B D_{200} + \beta_6 Freq_{ij} \\
 V_{ij}^R &= \beta_0^R + \beta_1 LCd_{ij}^R + \beta_2^T IT_{ij}^R D_{50} + \beta_3^T IT_{ij}^R D_{100} + \beta_4^T IT_{ij}^R D_{200} + \beta_5 Acc + \beta_6 Freq_{ij}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

여기서, D_{50} : 통행 거리 50km 이상 100km 미만 더미변수(50km 이상 100km 미만=1, 아니면=0)

D_{100} : 통행 거리 100km 이상 200km 미만 더미변수(100km 이상 200km 미만=1, 아니면=0)

D_{200} : 통행 거리 200km 이상 더미변수(200km 이상=1, 아니면=0)

Table 4. Estimation results of urban proposal model (Model 2-1, under 50km)

Variable	Parameter	Coefficient	Standard error	t-value
Constant	β_0^B	-1.0941	0.0352	-31.086
	β_0^R	-0.5214	0.0372	-14.009
C_{ij}^m	β_1	-0.1039	0.0110	-9.406
$TT_{ij}^A D_0, AIT_{ij}^B D_0$	β_2^H	-0.0158	0.0008	-19.190
$IT_{ij}^R D_0$	β_2^R	-0.0073	0.0007	-10.883
$TT_{ij}^A D_{40}, AIT_{ij}^B D_{40}$	β_3^H	-0.0257	0.0014	-18.257
$IT_{ij}^R D_{40}$	β_3^R	-0.0219	0.0013	-16.735
Acc	β_4	-0.0445	0.0010	-45.749
$Freq_{ij}$	β_5	0.0020	0.0001	17.955
Number of data			55,730	
$LL(0)$			-61,207	
$LL(\beta)$			-53,983	
$-2[LL(0) - LL(\beta)]$			14,448	
ρ^2			0.1180	
$Adjusted - \rho^2$			0.1180	

Table 5. Estimation results of regional proposal model (Model 2-2, over 50km)

Variable	Parameter	Coefficient	Standard error	t-value
Constant				
	β_0^B	-0.7103	0.0380	-18.704
	β_0^R	-1.4251	0.0473	-30.098
LCd_{ij}^n	β_1	-1.8652	0.0483	-38.598
$TT_{ij}^A D_{50}$	β_2^A	-0.0124	0.0012	-10.650
$AIT_{ij}^B D_{50}, IT_{ij}^R D_{50}$	β_2^T	-0.0095	0.0010	-9.923
$TT_{ij}^A D_{100}$	β_3^A	-0.0085	0.0007	-12.649
$AIT_{ij}^B D_{100}, IT_{ij}^R D_{100}$	β_3^T	-0.0048	0.0006	-7.990
$TT_{ij}^A D_{200}$	β_4^A	-0.0102	0.00006	-18.131
$AIT_{ij}^B D_{200}, IT_{ij}^R D_{200}$	β_4^T	-0.0063	0.0005	-11.694
Acc	β_5	-0.0155	0.0005	-29.701
$Freq_{ij}$	β_6	0.0018	0.0001	27.351
Number of data			114,630	
$LL(0)$			-125,885	
$LL(\beta)$			-89,610	
$-2[LL(0) - LL(\beta)]$			72,550	
ρ^2			0.2882	
$Adjusted - \rho^2$			0.2881	

통행거리에 따라 통행시간이 교통수단선택 행태에 미치는 영향이 다르다는 점을 모형에 반영하기 위하여 다양한 통행거리 급간을 나누어가며 적절한 통행거리 급간의 경계치를 찾았다. 도시교통 모형은 10km 단위로 급간을 나누고, 지역 간 교통 모형의 경우는 100km 단위로 급간을 나눠 통계적으로 우수한 모형을 찾았다. 결과적으로, 모형 2-1의 경우는 0-40km와 40-50km로 구분하였으며, 모형 2-2는 50-100km, 100-200km, 200km 이상으로 급간을 구분하였다. 설명변수의 적용 형태는 기본 모형과 같이 통행비용 변수는 일반변수 그리고 통행시간 변수는 대안 특수변수로 적용하였다. 특히 통행시간 변수를 대안특수변수로 설정하면서 모형 2-1에서는 도로교통수단(승용차, 버스)은 동일한 계수 값을 가지며, 궤도교통수단(철도)는 별도의 계수 값을 갖게 분석했다. 모형 2-2에서는 개별 교통수단(승용차)가 별도의 계수 값을 가지며, 대중교통(버스, 철도)이 서로 동일한 계수 값을 갖도록 설정했다.

본 연구에서 통계적으로 가장 유의하다고 판단된 두 제안 모형은 모든 설명변수에 대한 계수가 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의한 값을 가지며, 모형 2-1의 ρ^2 값은 0.12, 모형 2-2는 0.29로 분석됐다. 기본 모형에 통행거리 구간 범주별로 다른 영향을 모형에 반영시키고, 추가적인 대중교통 속성 변수를 포함시킴에 따라 기본 모형보다 본 연구에서 제안한 모형이 모든 통계치에서 더 향상된 결과가 나왔다. 또한 통행시간, 통행비용, 접근시간 설명변수의 부호가 음의 부호로 도출되어 비선호 통행 행태가 잘 반영되었으며, 철도의 배차횟수가 양의 부호로 분석되어 배차 횟수가 많을수록 철도 수단에 대한 효용이 증가하는 선호 통행 행태가 잘 반영됐다.

다만, 연구 대상 지역이 고속철도가 일반철도에 경쟁이 되지 않는 곳을 대상으로 분석을 진행하면서 고속철도 변수가 포함되지 않았다. 하지만 로짓모형의 가정 중 IIA property(Independence from Irrelevant Alternatives Property)에 의해 비관련 대안으로부터의 독립성을 고려하면 고속철도 변수가 일반변수로 설정하여 해당 모형에 추가될 수 있다. 그러나 고속철도와 일반철도의 통행특성은 상이하어 예측에 대한 정확성을 떨어질 수 있는 한계점은 존재한다.

3. 시간가치 및 탄력도 분석

교통수단선택 행태에 미치는 설명변수의 민감도가 현실적 논리성을 갖는지 검증하기 위해 시간가치와 탄력성을 분석하였다. 시간가치와 탄력성은 선택확률 및 설명변수 값 크기에 따라 달라지기 때문에 모든 교통수단의 조건을

동일하게 준 예시적 상황에 대한 시간가치와 탄력성을 계산하고 그 논리성을 검토하였다. 단거리, 중거리, 장거리 통행의 상황에서 통행거리, 통행비용, 통행시간은 다음과 같다.

Case 1: 단거리 통행(25km, 3,000원, 40분)

Case 2: 중거리 통행(150km, 12,000원, 100분)

Case 3: 장거리 통행(300km, 30,000원, 200분)

Table 6과 같이 기본 모형인 모형 1-1의 시간가치는 철도 교통수단이 승용차와 버스보다 통행시간 변화에 더 민감하지만 제안 모형인 모형 2-1의 시간가치는 승용차와 버스 교통수단이 철도보다 단거리에서 통행시간 변화에 민감하다는 결과로 나타난다. 기본 모형과 제안 모형의 통행자들은 중거리보다 장거리 통행에서 통행시간에 더 민감하게 교통수단선택 행태가 영향을 받는 것으로 분석됐다. Ben-Akiva and Lermans(1985)는 단거리보다 중거리에서 시간가치가 떨어지다가 다시 장거리에서 시간가치가 커지는 현상을 언급하였으며, 본 연구에서 제안하는 모형이 기본 모형보다 그 현상을 잘 나타낸다고 판단된다.

Table 6. Value of time by model (KRW)

Case	Model	Auto	Auto & Bus	Bus	Bus & Rail	Rail
1	1-1		2,444			4,562
1	2-1		9,124			4,216
2	1-2	3,580			1,771	
2	2-2	3,281			1,853	
3	1-2	8,949			4,427	
3	2-2	9,843			6,080	

또한 설명변수에 대한 민감도 분석으로 탄력도 분석을 실시하였다. 다만 제안 모형에서는 기본 모형에는 없었던 추가적 설명변수가 있어 추가 설정도 필요하다. 단거리, 중거리 및 장거리 통행에서 철도 배차 횟수는 각각 80회/일, 60회/일, 40회/일로 설정했고, 평균 철도 접근시간은 15분, 30분, 30분으로 각각 설정했다. 탄력성은 해당 설명변수 값이 1% 변할 때 교통수단선택 확률이 몇 퍼센트가 변하는가를 설명하는 것이므로 비용에 대한 탄력성 값이 1.00 근처에 있으면 비용 변화율과 수요 변화율이 비슷하다고 판단할 수 있다.

Table 7과 같이 기본 모형인 모형 1-1의 탄력도는 교통수단선택 확률이 통행요금이나 통행시간에 대해 비탄력적 현상을 설명하고 있다. 중거리에서 모형 1-2의 통행비용은 비교적 탄력적으로 변화하지만 통행시간에 대해서는 비탄력적인 성향으로 분석 결과가 나왔다. 장거리에서 통행비용에 대한 탄력성은 중거리 경우와 유사한 규모지만 통행시간에 대한 탄력성은 중거리 경우보다 2배 정도 더 높은 탄력성의 결과가 나왔다. 제안 모형의 경우, 모형 2-1의 통행비용과 통행시간에 대한 탄력성 값이 1보다 작게 나와 교통수단 수요 부담률이 요금이나 통행시간에 비탄력적이라고 해석할 수가 있다. 모형 2-2의 중·장거리의 경우 통행비용의 변화율에 비해 통행시간의 변화율이 교통수단선택 확률 변화율을 조금 더 적게 변화하는 것으로 해석될 수 있다.

Table 7. Elasticity by model

Model	Case	Travel cost			Travel time		
		Auto	Bus	Rail	Auto	Bus	Rail
1-1	1	-0.19	-0.36	-0.33	-0.11	-0.20	-0.34
1-2	2	-0.93	-1.18	-1.71	-0.46	-0.29	-0.42
	3	-1.16	-1.00	-1.66	-1.15	-0.49	-0.82
2-1	1	-0.14	-0.25	-0.23	-0.29	-0.52	-0.21
2-2	2	-0.91	-1.19	-1.63	-0.17	-0.12	-0.17
	3	-1.10	-1.04	-1.63	-0.24	-0.14	-0.22

시간가치나 탄력성의 정확한 참값은 알 수가 없고 기존 연구의 어떤 값이 더 참값에 가까운 것인가도 확신을 갖기 어렵다. 현실에서 관찰되는 교통현상을 통해 논리적 감각적인 숫자에서 완전히 벗어나지 않는다면 정책분석에 활용 가능한 예측모형으로 판단하는 것이 옳다고 고려된다. 분석된 시간가치와 탄력성은 논리적 범주 안에 들어오며 기본 모형보다는 상세한 민감도까지 파악이 가능하여 정책분석의 활용에 다양성이 추가될 수가 있다고 고려된다.

사례 연구를 통한 교통정책에 미치는 영향 분석

기본 모형과 제안 모형에서 각 설명변수의 계수 값이 모두 통계적으로 유의하였으며, 모형의 전체적 설명력에 대한 통계치인 *Adjusted- ρ^2* 값은 수치상으로는 큰 차이가 나지 않게 보인다. 통계치만 고려한다면 어떤 모형을 선택해도 괜찮다고 판단할 수 있다. 하지만 각 모형의 분석 결과가 얼마나 차이가 날 것인가를 파악하는 것에 사례연구의 의의가 있다. 같은 철도 분석 사례를 가지고 다른 교통수단선택 모형 적용 시 분석 결과의 차이가 얼마나 클 것인가를 분석하였다. 사례 연구로 설정된 철도 신설 노선은 연장 15.2km의 복선철도사업이며, 기존 및 장래 철도 노선과의 연계 운영이 가능하게 됨으로써 짧게는 140km에서 270km의 장거리 통행을 환승 없이 지역 간 통행 서비스를 제공할 수 있는 환경을 제공할 수 있는 철도사업이다.

사례 연구에서 통행비용과 통행시간만으로 구성된 기본 모형을 적용할 경우 철도사업을 통해 철도로 수단이 전환된 통행량은 3,515통행/일로 추정된 반면에, 본 연구의 제안 모형을 적용할 경우 전환량이 9,132통행/일로 추정되어 약 2.5배의 전환량 차이(Table 8)가 발생하는 것으로 분석되었다. 동일한 자료에서 정산되고 통계적으로 유의한 교통수단선택 모형이 적용되더라도 효용함수의 설명변수 차이에 따라 정책 효과로서 수단전환량에 큰 차이가 존재할 수 있음을 보여주는 사례 연구 결과다. 기본 모형과 제안 모형의 통행거리별 교통수단 전환량을 비교하면 통행거리에 따라 전환량이 많이 차이가 존재한다는 점도 알 수 있다.

Table 8. Comparison of mode change results by distance

Travel distance	Basic logit model		Proposal logit model	
	Mode change (trip/day)	Rate (%)	Mode change (trip/day)	Rate (%)
0-40km	1,604	45.6	3,916	42.9
40-50km	367	10.4	1,787	19.6
50-100km	918	26.1	2,323	25.4
100-200km	435	12.4	889	9.7
Over 200km	191	5.4	216	2.4
Total	3,515	100.0	9,132	100.0

어떤 모형을 적용하는가에 따라 분석 결과에 큰 차이가 있을 수가 있다는 것은 교통정책에 대한 의사결정의 왜곡을 가지고 올 수 있음을 암시한다. 특히, 의사결정에 중요한 부분인 통행시간 단축, 운행비용 감소 등 경제성 분석에서 전환된 통행량에 따라 편익 규모가 크게 다를 수가 있다. 이는 정확한 교통수요 모형의 선택이 중요하다는 것을 설명해 주는 분석 결과이다. 그러나 단순히 전환량이 많은 예측모형을 사용하는 것보다는 통행자들의 행태를 현실적으로 잘 반영할 수 있는 신뢰성 있는 예측모형을 구축하는 것이 중요한 부분으로 인식할 필요가 있다.

요약 및 결론

통행자들의 교통수단선택 행태 연구들은 대부분 개별 자료를 활용한 분석으로 이루어져 있다. 하지만 공간적으로 넓은 지역에 영향을 주는 거시적 교통정책 효과 분석에 있어서는 계산 용이하도록 교통존 기반으로 집합화하여 분석을 하고 있다. 우리나라에서도 다른 국가와 마찬가지로 교통존 기반의 OD통행량과 네트워크 자료를 활용하여 철도 교통수요예측이 이루어지고 있다. 하지만 교통존 기반으로 집합화된 교통수단별 OD자료에서 개별 통행자의

속성 자료는 집합화 과정에서 없어지고 단순히 통행량 자료만 존재하게 된다. 분석에 활용 가능한 자료는 집합화된 평균 통행시간과 통행비용 자료와 일부 제약적 자료만 존재하게 된다. 따라서 본 연구는 교통존 기반의 거시적 자료의 한계에서 정확성을 향상시킬 수 있는 설명변수를 추가하여 개선된 모형을 제안하는데 초점을 두었다.

본 연구에서는 통행자의 통행거리별 통행시간이 교통수단선택 행태에 다르게 영향을 주는 것에 주목했다. 한국교통연구원에서 배포한 교통존 기반의 전국 교통수단별 OD간 통행량을 활용하여 OD쌍을 통행거리별로 구분하고 통행거리별로 다른 영향을 모형에 반영할 수 있도록 모형을 구축하였다. 정산과 예측 분석을 위한 입력 자료는 자료 취득의 용이성, 모형 적용상 단순성, 예측 오차의 최소화 등과 함께 분석의 일관성을 유지하기 위해 도로와 철도 네트워크 시뮬레이션 분석 결과 자료를 일관되게 적용하였다.

본 연구의 제안 모형은 통행거리별 더미변수와 철도의 배차횟수와 접근시간을 효용함수에 추가한 모형이 계수의 부호, 유의성, 전체 모형 설명력 측면에서 가장 통계치가 우수한 모형으로 선정하였다. 설명변수의 적용 형태는 통행비용은 일반변수, 통행시간은 대안특수변수가 적합한 것으로 분석됐다. 통계적 분석을 포함하여 모형의 논리적 합리성을 검증하기 위해서 설명변수 간 대체효과와 설명변수가 교통수단선택 행태에 미치는 민감도 분석으로써 시간가치와 탄력성 분석도 수행하였다. 시간가치와 탄력성의 분석 결과는 모두 논리적 범주 안에 있는 수치로 나온 것으로 판단이 된다. 추가적으로 두 모형을 적용하여 철도사업의 정책 효과 분석을 수행하여 두 모형의 예측 결과를 비교하는 사례 연구도 수행하였다. 두 모형이 모두 통계적으로는 유의함에도 불구하고 다른 교통수단에서 철도로 전환된 통행량이 교통정책 의사결정에 영향을 줄 수 있을 정도로 분석 결과에서 차이가 날 수 있음을 보여주었다. 교통수단선택 모형에 따라 결과 차이가 크게 날 수 있음을 의미하고 교통정책 의사결정에 왜곡된 결정을 유도할 수 있음을 보여주는 사례 연구이다. 따라서 정확한 교통수단선택 모형을 개발하는 것은 중요한 과정이며 교통정책 의사결정에도 영향을 미치는 것을 의미한다.

현재 도로·철도부문 예비타당성조사의 경우, 대부분 한국교통연구원의 교통수단선택 모형을 이용하여 분석을 수행하지만 해당 조사를 주관하는 한국개발연구원은 적합한 모형이 있다고 판단될 때 해당 모형에만 국한되지 않고 다른 식을 사용할 수 있다고 명시되어있다. 국내의 수단분담모형은 전국권, 지방 광역권으로 구분되어 일률적으로 적용되는 애로사항이 존재하지만, 제안 모형은 이러한 상황에서 활용성을 높일 수 있다. 그러나 공간적으로 집합화된 교통존 기반의 분석 값은 정확성 및 신뢰성 등 보편성에 대한 한계성이 존재하여 통행자의 개별적 행태가 동일하다는 가정이 필요하다. 또한 정산과정에서 통행시간과 통행비용의 높은 상관관계로 인하여 단위 거리당 통행요금의 변수가 활용된 점과 기본 모형과 제안 모형의 대안특수변수가 일치하지 않는 점 등 모형 간의 직접적인 비교는 불가능했다. 본 연구에서는 다양한 한계성 내에서 통행시간과 통행요금의 세분화를 통해 효과적인 모형으로 개선하였으며, 향후 이외의 추가적인 설명변수를 찾아 모형 정산에 활용한다면 더욱 합리적인 모형이 구축되어 활용되는 것을 희망한다.

Funding

This work was supported by a grant from the National Research Foundation of Korea (NRF), grant funded by the Korean government (MSIT)(NRF-2017R1D1A1B04035997).


알림

본 논문은 한국개발연구원 공공투자사업의 타당성평가 방법론과 제도 개선을 위한 학술대회(2016.05.17)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

LEE, Kitaeg  <http://orcid.org/0000-0002-6281-4478>

KIM, Ikki  <http://orcid.org/0000-0002-2057-4840>

SHIM, Jaeyeob  <http://orcid.org/0000-0002-6481-9184>

KIM, Jihye  <http://orcid.org/0000-0003-1211-5924>

References

- Bel G. (1997), Changes in Travel Time across Modes and Its Impact on the Demand for Inter-urban Rail Travel, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 33(1), 43-52.
- Ben-Akiva M., Lermans S. R. (1985), *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, Cambridge, MA, 131.
- Cho H. U., Lee S. Y., Kim K. S. (2009), A New Approach of Modal Split Model Based on The Trip Length (Gyeongbu High-Speed Railway), *Proceedings of the KSR Conference*, The Korean Society for Railway, 773-790.
- Choi S. T., Rho J. H., Kim S. H. (2014), Development of a 2-phases Sequential Modal Split Model for Inter - regional Inter-modal Trip in Korea, *Journal of Korea Planning Association*, 49(6), Korea Planning Association, 49(6), 225-239.
- Forsey D., Habib K. N., Miller E. J., Shalaby A. (2013), Evaluating the Impacts of a New Transit System on Commuting Mode Choice using a GEV Model Estimated to Revealed Preference Data: A Case Study of the VIVA System in York Region, Ontario, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 50, 1-14.
- Georggi N. L., Pendyala R. M. (2000), An Analysis of Long-distance Travel Behavior of the Elderly and the Low-income, *Transportation Research Circular E-C026*, Transportation Research Board, 121-150.
- Kanafani A. (1983), *Transportation Demand Analysis*, McGraw-Hill (New York), 220.
- Kim I. K., Kim K. S., Kim H. C. (2005), Model Specification and Estimation Method for Traveler's Mode Choice Behavior in Pusan Metropolitan Area, *J. Korean Soc. Transp.*, 23(3), Korean Society of Transportation, 7-19.
- Kim J. Y., Lee S. J., Kim D. G., Jeon J. W. (2011), Development and Application of the Mode Choice Models According to Zone Sizes, *J. Korean Soc. Transp.*, 29(6), Korean Society of Transportation, 97-106.
- Lee S. J., Chang S. E., Lee S. J., Yoon Y. W. (2013), An Analysis on Speed-Distance Comparative Advantage of Transportation Modes after the Opening of Gyeongbu High-speed Railway Project Phase II, *Conference of the Korean Society for Railway*, 1162-1174.
- Limtanakool N., Dijst M., Schwanen T. (2006), The Influence of Socioeconomic Characteristics, Land Use and Travel Time Considerations on Mode Choice for Medium- and Longer-distance Trips, *Journal of Transport Geography*, 14(5), 327-341.
- Moeckel R., Fussell R., Donnelly R. (2015), Mode Choice Modeling for Long-distance Travel, *Transportation Letters*, 7(1), 35-46.
- Sung H. G., Choi M. J., Lee S. G. (2014), Determinants of Transportation Mode Choice for Long-distance Travel in Korea-Focused on High-speed Rail over Private Car, *J. Korea Plan. Assoc*, 49(2), 245-257.
- Zhang 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.