

정성적 요인을 반영한 초단거리 접근수단의 선택 행태 연구

김지혜¹ · 김익기^{2*} · 유한솔¹

¹한양대학교 교통물류공학과 박사수료, ²한양대학교 교통물류공학과 교수

Choice Behavior Analysis for Feeder Modes on First and Last Mile with Qualitative Factors

KIM, Jihye¹ · KIM, Ikki^{2*} · YOO, Hansol¹

¹Ph.D. Candidate, Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

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

*Corresponding author: ikkikim@hanyang.ac.kr

Abstract

Feeder modes on First and Last Mile recently have been getting attention. To carry out relevant policies, it is necessary to understand the choice behavior about feeder modes on first and last mile. Therefore we analyzed traveler's mode choice behavior about electric scooter, autonomous bus, sharing bicycle and walking which can be introduced on First and Last Mile. On the mode choice behavior, the qualitative factors have influence as well as the quantitative factors. Therefore, this study quantified the qualitative factors which were implied "feeling danger" related to bicycle and electric scooter, and "concerning health" related to walking. The values of qualitative factor were estimated by using a binary logit model with socio-economic attributes and personal preference as independent variables, and the mode choice models were calibrated in the form of a multinomial logit model with traveler's socio-economic attributes, mode service attributes, and qualitative factor as independent variables. The influence of the qualitative factors on traveler's choice behavior was interpreted as unit of travel time. And the calibration analysis of transportation mode choice behavior at very short distances showed that the model is statistically significant. The calibrated model explained that the people in age 20s preferred to electric scooters comparing with other age groups and that houseperson tended to avoid walking. The passengers tended to feel danger to electric scooter more than bicycle. The effect of "feeling danger" and "concerning health" on the mode choice behavior in time unit, their effect was found as same as between 3.17 and 5.06 minutes. When considering that it is a very short-distance moving, the results showed that the qualitative factors of "feeling danger" and "concerning health" affect greatly on the traveler's mode choice behavior. The study contributed to quantifying the qualitative factors for traveler's mode choice behavior at very short distances. This made it possible to express the influence of qualitative factors numerically.

Keywords: binary logit model, feeder mode choice, first and last mile, multinomial logit model, qualitative factor

J. Korean Soc. Transp.
Vol.39, No.1, pp.14-29, February 2021
<https://doi.org/10.7470/jkst.2021.39.1.014>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 3 July 2020

Revised: 13 August 2020

Accepted: 16 December 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

최근 First and Last Mile (FLM) 영역에서 초단거리의 접근 교통수단에 대한 관심이 커지고 있다. 관련된 정책을 추진하기 위해서는 통행자들의 수단선택 행태를 이해할 필요가 있다. 그러므로 본 연구는 FLM에서 도입될 수 있는 접근 교통수단인 전동 키포드, 자율주행버스, 자전거, 도보 수단에 대한 통행자의 선택행태를 분석하였다. 통행자의 교통수단 선택행태는 정량적 요인뿐만 아니라 정성적 요인에도 영향을 받는다. 그러므로 본 연구는 자전거, 전동 키포드 수단과 관련된 위험성이라는 정성적 요인과 도보 수단과 관련이 있는 건강에 대한 인식이라는 정성적 요인을 계량화하여 수단선택모형에 반영하였다. 정성적 요인은 개인 속성 및 개인 선호도를 독립변수로 하는 이항로짓모형으로 계량화하였으며, 수단선택모형은 개인 속성, 통행 속성, 정성적 요인을 독립변수로 하는 다항로짓모형 형태로 구축하였다. 또한 정성적 요인이 수단선택행태에 미치는 영향의 규모를 파악하기 위해 통행시간과 대체효과를 검토하였다. 초단거리에서 교통수단 선택행태 모형은 통계적으로 유의하게 결과가 나왔다. 정산된 모형은 20대의 경우 전동 키포드를 선호하는 행태를 설명하고 있으며, 주부는 도보수단에 대해 거부적인 경향의 행태를 설명하고 있다. 또한 통행자들은 자전거보다 전동 키포드에 더 위험성을 느끼는 경향이 있는 것으로 분석되었다. 위험성 및 건강에 대한 인식의 정성적 요인이 수단선택행태에 미치는 영향을 시간단위로 검토해보면 약 3.17-5.06분 통행시간의 규모이다. 이는 초단거리 통행이라는 점을 고려할 때 정성적 요인이 수단선택 행태에 미치는 영향이 크다는 점을 알 수 있다. 본 연구는 접근수단 선택행태에 영향을 미치는 정성적 요인을 수단선택모형에 적용하였으며 그 규모를 수치적으로 검토하였다는 점에서 의미 있는 연구이다.

주요어: 이항로짓모형, 접근수단선택, 초단거리 접근통행, 다항로짓모형, 정성적 요인

서론

스마트시티란 도시의 경쟁력과 삶의 질을 향상하기 위하여 건설·정보통신기술 등을 융·복합하여 건설된 도시 기반 시설을 바탕으로 다양한 도시 서비스를 제공하는 지속 가능한 도시를 의미한다(스마트도시법 제1장 제2조). 많은 국가에서 기술의 발달, 건설 목적과 환경 등에 따라 다양한 목표를 가지고 스마트시티를 구축하고 있다. 스마트시티 건설에서 고려되는 중요한 요소 중 하나는 통행자의 이동성(모빌리티)이다. 이와 관련하여 So et al.(2019)의 연구에서는 스마트시티를 정의하는 단어 중에서 이동성이 다수 언급되었으며 교통 분야가 스마트시티의 기능에서 중요한 역할을 한다고 하였다. 이동성은 스마트시티에서 유발되는 시스템, 서비스, 정보가 모두 융합되어 이용자가 편리하게 이동할 수 있도록 하는 목표를 가지고 있다. 그러므로 통행자는 다양한 데이터를 바탕으로 통행 시간 및 비용을 최소화할 수 있으며 최적 경로에 대한 정보들을 제시받음으로써 높은 이동성을 제공받을 수 있다.

높은 이동성과 관련하여 주 교통수단을 신속하고 편안하게 이용하기 위한 First and Last Mile (FLM)은 중요하다. FLM이란 통행자가 출발지에서 주 교통수단인 대중교통 탑승지까지 그리고 대중교통 하차지에서 도착지까지의 통행이다. 이 명칭은 본래 통신망과 물류 분야에서 각 목적지까지 이동하기 위한 최적화를 위해 연구된 학문에서 사용되었으며, 교통 분야에서는 대중교통을 이용하기 위한 초단거리 접근 통행의 개념으로 사용되고 있다. 스마트시티에서 FLM영역의 서비스 향상을 위해 전동 키포드, 자율주행버스, 초소형자동차 등의 여러 가지 접근 교통수단을 도입 및 계획하고 있다. FLM영역의 계획단계에서 각 수단의 정류장, 배차간격, 주차가능대수 등 수단별 장래교통 수요 추정이 필요하므로 수단선택단계가 요구된다. FLM의 수단선택모형에 대한 선행연구(Sobieniak et al., 1979; Tsamboulas et al., 1992; Fan et al., 2019)에서는 자가용, 택시, 대중교통, 도보 등을 접근통행의 선택수단으로 고려하며 연구하였지만 스마트시티에 도입계획 중인 수단의 선택행태에 관련한 선행연구는 부족하다. 그러므로 본 연구는 선행연구에서 고려되지 않은 초단거리 접근통행의 수단과 기존 접근수단에 대한 수단선택모형을 구축하여 통행자의 선택행태를 연구하였다. 본 연구에서 고려한 접근 교통수단은 우리나라 스마트시티 시범사업에서 고려하고 있으며 이미 상용 중에 있는 전동 키포드와 개발 중에 있는 자율주행버스이며 기존 접근 교통수단인 공유자전거와

보행으로 총 4개 교통수단이다.

통행자의 교통수단 선택행태는 교통수단의 통행시간, 통행요금 등과 같은 정량적 요인과 안락성, 정시성, 편리성, 안전성 등과 같은 정성적 요인들에 영향을 받는다. 그러므로 교통수단 선택행태에 영향을 미치는 두 개의 요인들이 모두 적합하게 모형에서 반영되는 것이 바람직하다. 정성적 요인은 통행자의 수단선택 행태에 영향을 미치고 있지만 계량화의 어려움이 존재하며 모형에서 구체적인 영향을 파악하기 힘들어 연구에서 활발하게 활용되지 못하고 있다. 그러므로 본 연구는 FLM영역의 접근수단 선택행태에 영향을 주는 정성적 요인을 계량화하여 모형에서 수치적 해석이 가능할 수 있도록 하였다. 많은 연구에서 교통수단 선택행태에 영향을 주는 정성적 요인은 개인 속성과 관련이 있다고 하였다(Moon, 2009; Paulssen et al., 2014; Alex et al., 2016; Sanders et al., 2020). 그러므로 개인 속성이 독립변수이며 정성적 요인을 종속변수로 하는 이항로짓모형을 구축하여 정성적 요인에 대한 통행자의 선택행태를 설명하였으며 정성적 요인을 확률 형태로 계량화하여 수단선택 모형에 적용하였다. FLM영역에서 4개 교통수단에 대한 행태분석 모형은 다항로짓모형(multinomial logit model)을 적용하였다. 분석을 위해 SP조사를 수행하였고 통행자의 사회경제속성, 교통수단 선택행태에 영향을 주는 정량적 요인 그리고 정성적 요인인 교통수단에 대한 선호 및 수단선택 의지를 파악하였다. 조사된 설문조사 자료를 기반으로 2개의 정성적 요인을 생성하였고, 추정된 정성적 요인과 설문조사 자료 중 정량적 설명변수를 활용한 교통수단 선택모형인 다항로짓모형을 정산하여 FLM 영역에서 가장 통계적으로 우수한 교통수단 선택행태 모형을 제시하였다. 또한 본 연구는 통행자의 접근수단 행태를 해석하기 위해서 접근 교통수단의 시간가치를 검토하였으며 선행연구에서 제시한 통행 주수단의 시간가치와 비교하였다. 그리고 정성적 요인의 통행시간 대체효과를 검토하여 교통수단 선택행태에서 정성적 요인이 어떠한 영향을 미치는지 검토하였다.

선행연구

FLM영역에서 접근 교통수단에 대한 통행자 선택행태 연구는 그 동안 다양한 주제의 형태로 이루어져 왔다. 접근수단선택에 대한 초기연구는 Sobieniak et al.(1979), Korf and Demetsky(1981)와 Harvey(1986) 등이 있었다. 이 연구들에서 분석한 접근 교통수단은 자가용, 대중교통, 리무진, 택시 등이었다. 출발지 혹은 목적지에서 대중교통 정류장까지 접근거리가 짧아지면서 First and Last Mile이라는 용어를 초단거리의 접근수단 통행을 지칭하는데 쓰였다. 또한 도보, 자전거 등의 단거리 접근통행에 대한 관심이 증가하였고 이 수단들을 이용한 접근수단 선택모형이 연구되었다. Tsamboulas et al.(1992)은 도보, 버스, 자동차를 접근수단으로 고려하는 연구를 하였으며 Jung and Kim(2000)은 도보, 버스(마을/ 시내), 택시를 고려하였다. Meng et al.(2016)의 연구에서는 도보, 버스, 자전거가 접근수단에 포함되었으며 Fan et al.(2019)은 대중교통, 자가용, 자전거를 접근수단으로 고려하였다. Tilahun et al.(2016)은 라이드 셰어링, 대중교통(승용차접근, 도보접근), 자전거, 도보에 대한 수단선택모형을 구축하였다. 근래에는 새로운 교통수단인 전동 킥보드, 전기 자전거 등이 접근수단으로 고려되고 있으며 자율주행 셔틀버스 도입을 연구하고 있다. Shaheen and Rodier(2008)는 주요 교통수단 시설 옆에 자전거, 전기 자전거, 전동 킥보드 공유시스템을 설치하는 정책에 대한 연구결과를 발표하였다. 또한 Bhin and Son(2019)은 판교제로셔틀을 사례로 자율주행 셔틀버스의 사회적수용성 및 이용지불의사요인에 미치는 영향요인을 연구하였다. 위 연구처럼 기존도시에 새로운 교통수단을 적용하려는 여러 연구 및 정책이 있었다.

교통수단 선택행태는 각 수단의 정량적 요인뿐만 아니라 정성적 요인에도 영향을 받는다. 정성적 요인은 통행자가 교통수단에 대해 느끼는 태도 및 생각이라고 할 수 있다. 정성적 요인으로는 도보를 이용할 때 범죄로부터의 안전성(Tilahun et al., 2016), 전기 자전거의 안락함(Cherry and Cervero, 2007), 안전성, 정시성과 무환승(Chang, 2013) 등 교통수단에 대한 다양한 요인이 존재한다. Kim et al.(2010), Kim(1999)과 Chen and Li(2017)는 정성적 요인을 수단선택 모형에 추가한다면 통계적으로 더 우수한 모형이 도출된다고 연구하였다. 그러므로 본 연구에서도 정성적 요인을 수단선택 모형에 반영하여 통행자의 접근수단 선택행태를 설명하였다. 연구에서 고려되는 교통수단의 선택

행태와 관련된 정성적 요인에 대한 연구는 다음과 같다. Meng et al.(2016)은 접근수단의 선택행태와 관련하여 도보와 같이 안락함이 부족한 교통수단의 경우 통행거리가 짧을수록 통행자가 선호하며, 통행거리가 증가할수록 안락함이 비교적 더 큰 버스를 선호하는 것으로 연구 결과를 설명하였다. 한편, Korea Health Promotion Foundation (2016)에서 실시한 ‘직장인 일상생활 중 신체활동 실천 현황’ 조사 결과에 따르면 직장인 1,392명 중 9.5%가 출퇴근 시 가벼운 운동, 산책을 위해 운동화를 신는다고 응답하였으며, 48%가 하루 중 걸어서 이동하는 시간이 30분 이상이었다. 이처럼 도보의 경우 안락함이 없어 통행자가 통행거리가 길수록 선호하지 않는다고 여겨지지만, 일정거리 내에서는 건강을 생각하는 정성적 요인으로 인하여 도보를 선택하는 행태도 존재한다. Sanders et al.(2020)은 전동 키포드 사용에 대한 인식을 설문조사 하였으며 통행자는 전동 키포드를 탈 때 물체 혹은 사람과 부딪히는 것에 대해 가장 큰 두려움을 가지고 있었다. 또한 위험한 주행환경과 운전조작의 어려움으로 인하여 안전성이 부족하다고 응답하였다. Shin et al.(2018)은 퍼스널 모빌리티 관련 설문조사를 통해 안전성과 사용용이성이 중요한 요소라고 연구하였다. 통행자는 전동 키포드가 사용용이성은 있지만 안전하지 못하다는 인식을 가지고 있으며 이러한 정성적 요인이 수단선택 행태에 영향을 미칠 수 있다. Moon(2009)의 연구에서 자전거의 인식성향을 조사한 결과에서 자전거를 이용했을 때 안전에 대한 만족도가 낮다고 하였다. 자전거는 통행자에게 친숙하여 안락하다고 느끼는 통행자도 있지만 안전성이 부족하다고 느끼는 통행자도 존재한다. 그러므로 본 연구에서는 전동 키포드, 자전거의 위험성으로 인하여 통행자가 느끼는 두려움과 도보수단에서 건강을 생각하여 도보를 선호하는 통행자의 태도를 수단선택에 영향을 주는 정성적 요인으로 설정하였다. 또한 수단선택모형에서 교통수단으로 몸을 보호할 수 있는 자율주행버스와 그렇지 않은 수단들인 전동 키포드, 도보, 공유자전거의 통행시간의 계수를 다르게 설정하여 자율주행버스의 안락함에 대한 통행태를 구분하여 분석하는 연구를 시도하였다.

여러 연구자들이 정성적 요인이 교통수단 선택행태에 주요하게 영향을 미치는 것을 인식하여 다양한 방법으로 수단선택 모형에 반영하였다. Ding and Zhang(2016)과 Lee and Kim(2009)은 수단선택모형에 정성적 요인을 직접적으로 추가하였다. Ben-Akiva et al.(1999)은 수단선택 모형에 정성적 요인을 반영하기 위해 수단선택 모형과 잠재변수 모형을 합친 Hybrid choice model을 제시하였으며 이러한 잠재변수를 모형에 반영한다면 통행자들의 현실적인 선택행태에 대한 모형의 설명 오차를 감소시킬 수 있으며 다양한 해석도 가능하다는 장점이 있다고 설명하고 있다. 이와 관련하여 Kim et al.(2014)은 Hybrid choice model을 사용한 수단선택 연구들을 제시하였다. Paulssen et al.(2014)은 Integrated choice and latent variable model을 이용하여 정성적 요인을 잠재변수 형태로 구축하여 수단선택 모형에 반영하였다. Sohn and Yun(2009)과 Kim et al.(2010)은 요인분석으로 정성적 요인을 계량화 하였고, 이를 수단선택 모형에 반영하였다. Kim(1999)은 선형구조방정식 방법을 사용하여 교통시설 및 체계의 편리성에 대한 잠재변수를 구축하여 수단선택모형에 반영하였다. 위의 선행연구들은 정성적 요인을 수단선택 모형에 반영하기 위해 개인의 성향과 관련된 설문조사 자료를 이용하거나 정성적 요인을 그대로 모형에 적용하였다. 이러한 방법은 통계적으로 우수한 모형을 도출할 수 있지만 시스템 변화에 따른 장래 수단선택 추정 시에 각 통행자별 입력 자료 예측에 어려움이 있다. 그러므로 본 연구는 장래 교통수단 선택행태 추정의 용이성과 개인 속성에 따라서 교통수단에 대한 인식이 상이한 통행자의 행태를 설명하고자 개인 속성을 설명변수로 하는 Binary logit model을 이용하여 정성적 요인을 확률로 계량화 하고 수단선택 모형에 반영하였다. Binary logit model의 종속변수는 정성적 요인으로 설문조사를 통해 얻은 교통수단에 대한 통행자의 인식이며, 독립변수는 통행자의 개인 속성이다. 개인 별로 구축된 정성적 요인을 확률형태로 수단선택 모형에 추가하였다. 그리고 정성적 요인이 추가되지 않은 모형도 구축하여 정성적 요인의 추가효과를 확인하였다.

설문조사 설계 및 기초자료 분석

1. 설문조사 설계

설문조사 대상 지역은 부산광역시 강서구 명지동이며 설문대상자는 명지동 내 거주민으로 설정하였다. 표본은 명지동 거주민의 연령분포에서 층화비례추출 하였으며, 자동차 운전이 가능한 응답자와 불가능한 응답자의 비율이 같도록 추출하였다. 본 조사는 응답자는 총 303명이며 유효표본 수는 283명이다.

본 연구는 총 3가지 설문조사 항목을 조사하였다. 첫 번째로 응답자의 개인 속성인 성별, 월 평균 가구소득, 연령, 직업을 조사하였다. 두 번째로 접근교통수단 선택행태에 영향을 주는 정성적 요인을 모형에 반영하기 위해 교통수단에 대한 개인의 인식 및 성향을 조사하였다. 마지막으로 수단선택모형 구축을 위해 이용 가능한 교통수단에 대한 교통수단 특성을 제시하고 선호하는 수단을 조사하였다. 본 연구는 초단거리 접근수단을 대상으로 분석을 진행하므로 설문조사 상에서 접근 교통수단으로 이동하는 거리는 1-2km로 설정하였다. 또한 통행자의 일반적인 통행에 대한 선택행태를 설문조사의 답변으로 수집하였다. 선호하는 교통수단 조사 방법은 다음과 같다. 이용 가능한 교통수단의 기준 값을 제시하고 이용할 교통수단을 선택하도록 하였다. 또한 선택하지 않은 교통수단에 대해 통행자가 이용 의향이 생기는 통행시간과 요금을 제시하도록 개방형 질문으로 조사하였다. 교통수단의 기준 값은 Table 1과 같다. 각 교통수단 별 기준 값 산정방법은 다음과 같다. 통행거리 별 차내 통행시간을 산출하기 위해 전동 킥보드와 공유자전거의 속도는 15km/h, 도보 속도는 4km/h로 설정하였다. 자율주행버스의 속도는 Tak and Kang(2019)에서 조사한 일본 군마현과 스위스 시온에서 운행하는 자율주행버스의 속도를 준용하여 20km/h로 설정하였다. 통행요금은 기존에 운영되고 있는 부산광역시 마을버스의 평균 요금을 자율주행버스 요금에 적용하였으며 공유 전동 킥보드, 공유 자전거의 요금은 기존에 운영되고 있는 요금을 준용하여 설정하였다. 차외 통행시간은 전동 킥보드와 자전거는 대기시간 없이 바로 이용할 수 있다는 가정으로 도보접근시간 3분을 설정하였으며 자율주행셔틀버스는 대기시간을 포함한 5분으로 설정하였다.

Table 1. Standard travel time and cost by mode

Mode	Travel cost (won)	IVTT (min)	OVTT (min)	Total travel time (min)
Autonomous bus	1,000	6	5	11
Electric scooter	1,500	8	3	11
Sharing bicycle	500	8	3	11
Walk	-	-	30	30

- 1) IVTT: In-vehicle travel time
- 2) OVTT: Out-vehicle travel time

2. 기초자료 분석

설문조사를 수행한 유효표본의 층화비례추출 결과는 Table 2와 같으며 개인 속성 조사 결과는 Table 3과 같다. 남성 표본수가 55.5%로 여성보다 좀 더 많았고 중소득자 응답자들이 가장 많았다. 직장인 응답자는 67.9%였으며 주부 응답자 수는 25.1%이다. 이러한 개인 속성들을 사용하여 정성적 요인을 계량화 하고 수단선택모형을 구축하였다.

Table 2. Samples collected by stratified sampling method

Class	Age					Total
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-65	
Can drive a car	22	55	41	23	10	151
Cannot drive a car	20	48	36	19	9	132

Table 3. Statistics of socio-economic attributes

Socio-economic attributes	Class	Count (%)
Sex	Man	126 (55.5)
	Woman	157 (44.5)
Monthly household income	Low income (under 3 million won)	20 (7.1)
	Middle income (3-5 million won)	197 (69.6)
	High income (over 5 million won)	66 (23.3)
Age	Age 1 (20-29)	42 (14.8)
	Age 2 (30-59)	222 (78.5)
	Age 3 (60-65)	19 (6.7)
Occupancy	Job 1 (houseperson)	71 (25.1)
	Job 2 (worker)	192 (67.9)
	Job 3 (student)	14 (4.9)
	Job 4 (unemployed, freelancer)	6 (2.1)

교통수단에 대한 개인의 성향조사 결과는 Table 4와 같다. 교통수단을 선택할 때 가장 중요하게 생각하는 요소로 안락함을 선택한 응답자 수가 42.4%로 가장 많았으며 저렴한 가격을 선택한 응답자 수가 21.6%로 가장 적었다. 빠른 이륜통행수단 탑승에 대한 두려움 여부 조사에서는 70.0%가 두려움을 가지고 있었다. 보통 짧은 통행거리이거나 자전거, 버스, 자동차 등의 수단을 이용할 수 없을 때 도보를 이용한다. 그러나 건강을 위해 보행을 선택하는 통행자가 존재하였으며 응답자 중 38.9%를 차지하고 있었다. 본 연구는 이러한 빠른 이륜통행수단 탑승에 대한 두려움과 건강을 위해 도보를 이용한다는 정성적 요인을 수단선택 모형에 반영하기 위하여 계량화 하였다.

Table 4. Statistics of travel preference attributes

Preference attributes	Class	Count (%)
The best thing when choice the transport mode	Cheep travel cost	61 (21.6)
	Fast travel time	102 (36.0)
	Cozy	120 (42.4)
The fast bi-wheeled modes are scary	Scary	198 (70.0)
	Not scary	85 (30.0)
Walking for health although traveler could choice other transport mode	Yes	110 (38.9)
	No	173 (61.1)

연구방법

1. 정성적 요인 계량화

본 연구에서 통행자들이 전동 킥보드 및 자전거와 같은 빠른 이륜통행수단 탑승에 두려움을 가지는 여부와 운동을 위하여 대중교통이나 승용차 대신에 보행을 선택하는지 여부를 조사하였으며 통행자들은 2개 선택 항목(예, 아니오)으로 응답하였다. 또한 이항적 선택 설문 형태를 반영하면서 통행자 별 정성적 요인의 정도가 확률적으로 분포되어 있을 것이라는 가정에 이항로짓모형(binary logit model)을 이용하여 정성적 요인을 계량화 하였다. 본 연구에서 구축한 정성적 요인은 통행자가 교통수단에 느끼는 인식으로 인한 통행자의 행태를 나타낸다고 할 수 있다. 이항로짓모형은 효용극대화의 행태이론에 기반을 둔 확률효용이론(random utility)에 기초한 모형으로 두 선택 대안 i 와 j 에 대하여 각 대안을 선택할 확률을 나타낼 수 있다. 이항로짓모형에서 대안 i 의 선택확률은 대안 i 의 효용이 대안 j 의 효용보다 클 확률을 나타내며, Equation 1과 같다.

$$P(i|C_n) = \Pr(U_{in} \geq U_{jn}, \forall i, j \in C_n) \quad (1)$$

여기서, $P(i|C_n)$: 대안 i 를 선택할 확률

C_n : 대안 집합

U_{in}, U_{jn} : 대안 i, j 의 효용

대안들의 효용 U_{in}, U_{jn} 은 Equation 2와 같이 결정적 효용 V_{in}, V_{jn} 과 확률적 효용 $\varepsilon_{in}, \varepsilon_{jn}$ 으로 구성된다. 결정적 효용은 선택행태에 영향을 주는 개인의 속성 및 서비스에 대한 선호인식이며 확률적 효용은 독립적이며 균등한 검벨 분포(Gumbel distribution)을 따른다고 가정하고 있다. 이와 같은 가정은 $\varepsilon_{in} - \varepsilon_{jn}$ 가 로지스틱분포(logistic distribution)를 가지게 되며 $P(i|C_n)$ 은 Equation 3과 같이 수식으로 표현되어진다.

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \tag{2}$$

$$U_{jn} = V_{jn} + \varepsilon_{jn}$$

$$P(i|C_n) = \frac{e^{V_{in}}}{e^{V_{in}} + e^{V_{jn}}} \tag{3}$$

그러므로 본 연구는 이항로짓모형으로 각 개인마다 빠른 이륜통행수단 탑승이 두려울 확률(위험성)과 운동을 위하여 대중교통이나 승용차 대신 보행을 선택할 확률(건강에 대한 인식)을 도출하였다. 그리고 빠른 이륜통행수단 탑승이 두려울 확률은 전동 키포드 수단과 공유자전거수단의 효용함수에 설명변수로, 건강을 위해 대중교통이나 승용차 대신 보행을 선택할 확률은 도보 수단의 효용함수에 설명변수로 반영하였다. 이러한 방법은 수단선택 행태와 교통수단 인식으로 인한 행태가 독립적인 점을 반영하였으며 개인 속성의 계층에 따라 정성적 요인에 대한 확률이 교통수단 선택행태에 미치는 영향을 분석한 것이다.

2. 다항로짓모형을 이용한 수단선택모형 구축

본 연구는 통행자의 교통수단선택 행태분석에 일반적으로 사용되고 있는 다항로짓모형(multinomial logit model)으로 수단선택모형을 구축하였다. 선택 가능한 접근 교통수단으로는 전동 키포드, 공유자전거, 자율주행버스, 도보이다. 일반적으로 수단선택모형은 통행수단의 정량적 요인인 통행시간, 통행비용을 설명변수로 사용하여 정산된다. 본 연구는 각 교통수단의 서비스 수준을 나타내는 통행시간과 통행비용 외에도 통행자 개인의 사회경제속성인 나이, 소득, 성별 등을 설명변수로 고려하여 분석에 추가하였다. 또한 앞에서 설명한 이항로짓모형으로 계량화된 해당 수단의 정성적 요인인 위험성과 건강에 대한 인식을 모형에 반영하고자 하였다. 그러므로 본 연구는 3개의 접근수단 선택모형을 정산하여 정성적 요인과 개인 속성이 수단선택 모형에 적용되었을 때의 효과를 검토하였다. 수단선택 모형의 형태는 Table 5와 같다. 모형의 전체적인 통계적 설명력을 검증하기 위해 Rho-squared 값을 검토하였으며 각 설명변수에 대한 통계적 설명력은 P-value 값으로 검토하였다. Rho-squared 값은 0과 1사이의 값을 가지며 1에

Table 5. Specification of mode choice models

Models	Explanatory variables
Model 1	TMSA
Model 2	TMSA+TSEA
Model 3	TMSA+TSEA+QFDH

- 1) TMSA: Transportation mode service attributes
- 2) TSEA: Traveler's socio-economic attributes
- 3) QFDH: Qualitative factor about danger and health

가까울수록 통계적 설명력이 우수하다고 해석이 가능하며 P-value 값은 T-ratio와 표준편차를 사용하여 계산되었으며 값이 0.05 이하라면 95% 신뢰수준에서 통계적 설명력을 가진다고 해석할 수가 있다.

수단선택모형에서 독립변수의 추가가 의미가 있는지 확인하기 위해 우도비 검정(log likelihood ratio test)을 하였다(Ben-Akiva and Lerman, 1985). 설명변수 추가 전 모형을 Restricted Model이라고 칭하며 이 모델의 LL(B)값을 $LL(B_R)$ 라고 하였다. 설명변수 추가 후 모형을 Unrestricted Model이라고 칭하며 이 모델의 LL(B)값을 $LL(B_U)$ 라고 하였다. 우도비 검정의 귀무가설은 Restricted model이 참이며 추가된 설명변수의 계수 값을 0으로 제한해둔다는 의미이다. 우도비 검정에서 자유도는 Restricted model의 설명변수와 Unrestricted model의 설명변수 개수의 차이이며, 위 자유도에서의 카이검정을 따르는 임계값(critical value)과 Likelihood Ratio값을 비교하였다. Likelihood Ratio값의 식은 Equation 4와 같으며 귀무가설을 받아드린다면 독립변수의 추가는 통계학적으로 의미가 없다고 해석할 수가 있다.

$$Likelihood\ ratio = -2(LL(\hat{\beta}_R) - LL(\hat{\beta}_U)) \quad (4)$$

접근 교통수단 선택모형 정산 분석 결과

1. 정성적 요인 계량화

통행자들의 교통수단에 대한 위험성 인식을 파악하기 위해 전동 킥보드와 자전거와 같은 빠른 이륜수단 탑승에 두려움 여부에 개인 속성과 인식성향이 어떻게 영향을 주고 있는지를 이항로짓모형을 이용하여 분석하였다. 설문조사에서 빠른 이륜수단 탑승이 두렵다(danger=1) 혹은 두렵지 않다(danger=0)로 답한 항목을 선택종속변수로 설정하였다. 이항로짓모형으로 정성적 요인을 나타내었으므로 이는 확률적으로 계량화된 값이다. 또한 종속변수를 0과 1사의 값으로 나타내었으므로 그 강도를 간접적으로 내포하는 변수로 설정했다고 할 수 있다. 설문항목 중 교통수단선택에서 안락함이 가장 중요하다(cozy=1)와 중요하지 않다(cozy=0)에 대한 해당 통행자의 답변과 그 통행자의 성별인 남성(sex=1)과 여성(sex=0)을 설명변수로 적용하였을 때 가장 통계적으로 유의한 결과가 도출되었다. 이와 같은 위험성에 대한 모형의 정산결과는 Table 6과 같다. 정산결과에서 성별의 남성더미변수 계수 값이 음의 값으로, 여성이 남성보다 빠른 이륜수단 탑승을 두려워하는 것으로 분석 결과가 도출되었으며 이는 현실적 추론 논리와 같이 합리적인 결과라고 고려된다. 또한 안락함 변수는 양의 부호를 가지므로 안락함을 교통수단에 중요한 요소로 고려하는 통행자의 경우 이륜수단 탑승을 두려워하는 경향을 가진다고 해석될 수 있다. 상수는 양의 값을 가지므로 모형에서 설명하지 못한 다른 요소들의 복합적 요인들에 의해 두려움을 느낀다고 해석할 수 있다. 설명변수들의 통계적 유의성을 검토한 결과 P-value값은 0.05보다 작으므로 95% 유의수준에서 통계적으로 유의미하며 Rho-squared 값은 0.180로 분석되어 상수와 설명변수가 추가됨으로써 설명력 향상 규모는 비교적 높지 않게 분석 결과가 나왔다. 하지만 이륜수단에 대한 두려움 정도를 통행자의 성향에 따라 0과 1사이의 값인 계량화된 지표로 설명이 가능하며 접근 수단의 선택행태에 적용 분석이 가능하도록 하였다.

Table 6. The result of binary logit model for qualitative factor (the fast bi-wheeled mode is scary)

Explanatory variable	Coefficient	Standard error	T-ratio	P-value
Constant	1.178	0.216	5.458	0.000
Sex (man: 1, woman: 0)	-1.239	0.279	-4.440	0.000
Cozy (cozy: 1, not cozy: 0)	0.716	0.286	2.502	0.012
Rho-squared			0.180	
LL(0)			-196.160	
LL(B)			-160.794	

본 연구는 교통수단 선택 시 건강에 대한 인식을 나타내는 정성적 요인을 계량화 하였다. 대중교통이나 승용차를 이용하는 대신 운동을 위해 보행을 선택하는지 여부, 즉 설문조사에서 보행 선택(health=1) 혹은 보행 외 접근 교통수단 선택(health=0)의 설문조사 항목 자료를 종속변수로 하는 이항로짓모형을 이용하였다. 설명변수는 통행자의 개인 속성인 나이더미변수(30-59세), 자동차 운전가능 여부, 소득더미변수(300-500만원)로 설정 하였을 때 가장 높은 통계치를 가지는 분석 결과가 도출되었다. 모형 정산 결과는 Table 7과 같다. 정산 결과에서 나이더미변수의 계수 값이 음의 부호이다. 이는 30-59세의 연령대 통행자는 20대 통행자와 59세 이상의 연령대 통행자보다 보행을 덜 선호한다는 결과이다. 이는 사회경제활동이 활발한 연령의 통행자들은 바쁘기 때문에 운동을 위해서 걷지 않고 빠르거나 안락한 교통수단을 이용하고자 하는 성향을 가진다고 해석할 수 있다. 자동차 운전가능 여부 변수의 계수 값은 음의 부호를 가지므로 운전을 할 수 있는 사람은 그렇지 않은 사람보다 운동을 위해 걷지 않는 경향이 있는 것으로 분석되었다. 중소득자 더미변수의 계수 값이 음의 부호이므로 중소득자는 고소득 혹은 저소득 통행자보다 보행을 덜 선호한다고 해석이 가능하다. 분석 결과를 통해 소득보다는 연령이 보행 선호도에 더 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 통계적 유의성을 검토한 결과 자동차 운전 가능여부변수와 상수의 P-value값은 0.05보다 작으므로 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의미하며 나이더미변수와 소득더미변수의 P-value 값은 0.10보다 작으므로 신뢰수준 90%에서 통계적으로 유의미하다. Rho-squared 값은 0.089로 모형은 낮은 통계적 설명력을 가지고 있다. 접근 교통수단 선택 시 위험성과 건강에 대한 인식을 나타내는 두 정성적 요인을 구축하기 위한 이항로짓모형의 정산 결과에서 모두 비교적 낮은 Rho-squared 값 결과가 나왔다. 이것은 제약된 설문조사 항목의 자료에 국한되어 분석을 하다 보니 통행자들의 교통수단선택 행태 상 위험성 고려 정도 그리고 건강을 인식한 보행 선택 정도를 좀 더 자세하게 설명하는 것은 한계가 있을 수 있다. 하지만 주어진 자료의 한계 내에서는 교통수단 선택행태에 영향을 주는 위험성 및 건강에 대한 인식을 통계적으로 의미 있는 계량화 지표로 구축된 것은 유용하다고 고려된다.

이상과 같이 이항로짓모형을 이용하여 계량화된 위험성에 대한 정성적 요인은 전동 키포드와 자전거수단의 효용함수 내 설명변수로 포함시켜 모형을 구축하였으며, 건강에 대한 인식의 정성적 요인은 도보 수단의 효용함수 내 설명변수로 포함하여 모형을 구축하였다.

Table 7. The result of binary logit model for qualitative factor (walking for health although traveler could use other travel modes)

Explanatory variable	Coefficient	Standard error	T-ratio	P-value
Constant	0.793	0.341	2.328	0.020
Age 2 dummy (30-59)	-0.589	0.303	-3.561	0.052
Can drive a car (yes: 1, no: 0)	-0.903	0.254	-1.942	0.000
Income2 dummy (3-5 million won)	-0.479	0.273	-1.757	0.079
Rho-squared			0.089	
LL(0)			-196.160	
LL(B)			-178.738	

2. 수단선택모형 정산 결과

본 연구는 4개 접근 교통수단(전동 키포드, 공유자전거, 자율주행버스, 도보)에 대해 수단선택 행태모형을 정산하였다. 기본모형 Model 1은 정량적 요인인 통행시간과 통행비용만을 효용함수에 포함시킨 교통수단선택 모형이며 효용함수는 Equation 5와 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{AVB} &= \beta_{AVB} + \beta_{cost} C_{AVB} + \beta_{time1} T_{AVB} \\
 V_{ES} &= \beta_{cost} C_{ES} + \beta_{time2} T_{ES} \\
 V_{SB} &= \beta_{SB} + \beta_{cost} C_{SB} + \beta_{time2} T_{SB} \\
 V_{Walk} &= \beta_{Walk} + \beta_{time2} T_{Walk}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

여기서, V_m : 교통수단 m의 효용 값

C_m : 교통수단 m의 통행비용(원)

T_m : 교통수단 m의 통행시간(분)

$AVB, ES, SB, Walk$: 각각 자율주행버스, 전동 킷보드, 공유자전거, 도보 교통수단을 나타내는 첨자

통행요금은 원단위로 사용하였으며 통행시간은 분단위를 사용하였다. 교통수단 탑승에서 신체가 외부환경에 직접적으로 노출되지 않는 수단인 자율주행버스와 직접적으로 노출되는 수단인 그 외수단의 통행시간에 대한 다른 효과를 보기 위해 통행시간변수를 대안특수변수(alternative specific variable) 형태로 계수 값을 다르게 설정하여 선택모형을 정산하였다. 모형정산 결과는 Table 8과 같으며 분석결과에서 자율주행버스의 통행시간 계수가 그 외수단의 통행시간 계수보다 음의 값으로 더 작게 분석 결과가 나왔다. 이와 같은 분석 결과는 통행자들이 타 수단에 비해 동력기관을 가지고 빠르게 주행이 가능한 자율주행버스를 선택할 시에 통행시간의 변화에 더 민감하게 반응한다는 것을 의미한다. 자율주행버스 수단의 상수를 제외한 모든 계수의 P-value값이 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의미하며 자율주행버스 수단의 상수는 신뢰수준 90%에서 통계적으로 유의미하다. 또한 모형전체의 설명력인 Rho-squared 값은 0.678으로 통계적으로 설명력이 높은 것으로 분석 결과가 나왔다.

Table 8. The result of mode choice model (Model 1)

Explanatory variable	Coefficient	Standard error	T-ratio	P-value	
Constant	β_{SB}	-14.292	1.861	-7.679	0.000
	β_{AVB}	-2.796	1.630	-1.716	0.086
	β_{Walk}	-13.690	2.874	-4.763	0.000
Travel time	β_{time2}	-0.558	0.037	-15.110	0.000
	β_{time1}	-0.882	0.145	-6.093	0.000
Travel cost	β_{cost}	-0.016	0.002	-8.413	0.000
	LL(0)		-1,376.590		
	LL(B)		-443.703		
	Rho-squared		0.678		
	Adjusted Rho-squared		0.677		

본 연구는 일반적으로 1-2km 정도의 초단거리 접근 교통수단 선택행태에서 통행자의 시간가치를 산출하여 통행자가 느끼는 접근 교통수단에 대한 시간가치를 검토하고자 하였다. 교통수단선택 모형의 효용함수를 이용하여 통행비용과 통행시간 간의 상호 대체효과를 비교하여 시간가치를 산출하는 수식은 Equation 6과 같다. 또한 정성적 요인과 통행시간의 효용함수를 이용하여 정성적 요인에 대한 통행자의 가치를 통행시간으로 환산하여 상호대체효과를 확인하였으며 수식은 Equation 7과 같다.

$$VOT_m = \frac{\Delta V_{ij}^m / \Delta T_{ij}^m}{\Delta V_{ij}^m / \Delta C_{ij}^m} = \frac{\beta_{mT}}{\beta_{mC}} \quad (6)$$

$$VOQ_m = \frac{\Delta V_{ij}^m / \Delta Q_{ij}^m}{\Delta V_{ij}^m / \Delta T_{ij}^m} = \frac{\beta_{mQ}}{\beta_{mT}} \quad (7)$$

여기서, VOT_m : 교통수단 m의 시간가치

VOQ_m : 교통수단 m에서 정성적요인의 가치

- V : 효용함수 값
- T : 통행시간
- C : 통행비용
- Q : 계량화 된 정성적 요인
- β : 효용함수 설명변수에 대한 계수 값
- i, j, m : 출발 교통지점 i , 도착 교통지점 j , 교통수단 m 의 첨자

정산된 Model 1의 효용함수 계수 값을 이용하여 산출된 자율주행버스의 시간가치는 3,308원/시간이며, 전동 키포드의 시간가치는 2,093원/시간으로 추정되었다. 기존연구인 Korea Transport Database(2019)에서는 부산울산권의 시간가치를 10,998원/시간으로 제시하고 있다. 그러므로 본 연구에서 추정한 자율주행버스의 시간가치는 기존연구보다 대략 1/3 정도 수준으로 추정되었다. 그러므로 초단거리에서 통행시간이 접근수단 선택에 미치는 영향은 그렇게 크지 않다는 점을 시사하는 분석 결과라고 고려된다.

기본모형 Model 1을 좀 더 발전시키기 위해 통행자들의 개인속성 및 계량화 된 정성적 요인을 설명변수로 추가하였다. 우선 기본모형에 통행자의 개인 속성만 추가한 Model 2를 분석하였으며 효용함수는 Equation 8과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{AVB} &= \beta_{AVB} + \beta_{cost} C_{AVB} + \beta_{time1} T_{AVB} \\
 V_{ES} &= \beta_{cost} C_{ES} + \beta_{time2} T_{ES} + \beta_{age1} Age\ 1 \\
 V_{SB} &= \beta_{SB} + \beta_{cost} C_{SB} + \beta_{time2} T_{SB} \\
 V_{Walk} &= \beta_{Walk} + \beta_{Time2} T_{Walk} + \beta_{Job1} Job\ 1
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

여기서, V_m : 교통수단 m 의 효용 값

C_m : 교통수단 m 의 통행비용(원)

T_m : 교통수단 m 의 통행시간(분)

$Age\ 1$: 연령이 20-29세인지 여부(20-29세=1, 그 외=0)

$Job\ 1$: 직업이 주부 인지 여부(주부=1, 그 외=0)

AVB, ES, SB, W : 각각 자율주행버스, 전동 키포드, 공유자전거, 도보 교통수단을 나타내는 첨자

정산 결과인 Table 9에서 전동 키포드의 경우 연령에 따라 교통수단 선택행태가 다를 것으로 고려하여 여러 연령층 구간에 대해 더미변수를 넣고 빼보며 분석한 결과 20-29세 연령대 더미변수(Age 1)를 적용하는 것이 가장 통계학적으로 적합하다고 분석되었다. 분석 결과 예상할 수 있었던 바와 같이 전동 키포드의 효용함수에 포함된 Age 1 변수의 계수가 양의 부호로 나와 20대 통행자가 타 연령대 통행자들보다 전동 키포드를 선호 선택한다고 분석되었다. 또한 직업군에 따라서 접근 교통수단 선택행태에 주는 영향을 분석한 결과 주부 직업군(Job 1)만 통계학적으로 유의하게 영향을 주는 것으로 분석 결과가 나왔다. 보행 교통수단의 효용함수에 포함된 Job 1 더미변수(주부)의 계수가 음의 값으로 추정 결과가 나왔으므로 주부는 타 직업을 가진 통행자들보다 도보를 선호하지 않는 행태를 설명하고 있다. 이는 물건을 구입하거나 자녀들과 함께 통행할 때 도보가 불편한 주부의 통행행태를 설명하고 있다고 해석이 가능하다. Adjusted Rho-squared 값이 0.682로 Model 1보다 조금 높게 도출되어 통계적 설명력이 향상되었음을 알 수가 있다. 기본모형 Model 1에 추가적인 설명변수를 포함시킨 Model 2가 통계학적으로 의미 있는 향상이 있었는지 검증하기 위해 Log-likelihood ratio test를 수행하여 보았다. Log-likelihood ratio 값인 Chi-squared (χ^2) 값을 계산한 결과는 15.40이다. 모형의 자유도가 3이며 신뢰수준 95%에서 χ^2 임계값은 7.81이다. 계산된

Log-likelihood ratio 값이 임계값보다 크므로 귀무가설(기본모형이 사실)을 통계학적으로 기각할 수 있어 Model 2가 Model 1보다 통계적으로 유의하게 우수하다고 판단할 수가 있다.

Table 9. The result of mode choice models (Model 2, Model 3)

Model		Model 2			Model 3			
Explanatory variable	Coefficient	Standard error	T-ratio	P-value	Coefficient	Standard error	T-ratio	P-value
Constant								
β_{SB}	-14.292	1.869	-7.649	0.000	-15.356	2.118	-7.250	0.000
β_{AVB}	-2.584	1.623	-1.593	0.111	-4.453	1.865	-2.387	0.017
β_{Walk}	-13.155	2.914	-4.515	0.000	-16.597	3.206	-5.177	0.000
Travel mode attributes								
β_{time2}	-0.566	0.038	-15.018	0.000	-0.570	0.038	-14.971	0.000
β_{time1}	-0.895	0.145	-6.192	0.000	-0.925	0.147	-6.306	0.000
β_{Cost}	-0.016	0.002	-8.521	0.000	-0.016	0.002	-8.558	0.000
Socio-economic attributes								
β_{age1}	1.283	0.359	3.576	0.000	1.290	0.361	3.574	0.000
β_{job1}	-0.886	0.450	-1.968	0.049	-0.809	0.452	-1.791	0.073
Qualitative factor								
β_{health}					2.318	1.688	1.374	0.170
$\beta_{danger1}$					-2.882	1.318	-2.186	0.029
$\beta_{danger2}$					-1.808	0.863	-2.095	0.036
LL(0)		-1,376.590			-1,376.590			
LL(B)		-436.005			-426.173			
Rho-squared			0.683		0.690			
Adjusted Rho-squared			0.682		0.689			

본 논문의 주요 주제인 정성적 요인이 선택행태에 미치는 영향 분석을 위해 위험성과 건강에 대한 인식의 정성적 요인을 추가한 Model 3을 정산하여 보았으며, 효용함수는 Equation 9와 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{AVB} &= \beta_{AVB} + \beta_{cost} C_{AVB} + \beta_{time1} T_{AVB} \\
 V_{ES} &= \beta_{cost} C_{ES} + \beta_{time2} T_{ES} + \beta_{age1} Age 1 + \beta_{danger1} Danger \\
 V_{SB} &= \beta_{SB} + \beta_{cost} C_{SB} + \beta_{time2} T_{SB} + \beta_{danger2} Danger \\
 V_{Walk} &= \beta_{Walk} + \beta_{time2} T_{Walk} + \beta_{job1} Job 1 + \beta_{health} Health
 \end{aligned} \tag{9}$$

여기서, V_m : 교통수단 m의 효용 값

C_m : 교통수단 m의 통행비용(원)

T_m : 교통수단 m의 통행시간(분)

$Age 1$: 연령이 20-29세인지 여부(20-29세=1, 그 외=0)

$Job 1$: 직업이 주부 인지 여부(주부=1, 그 외=0)

$Danger$: 빠른 이륜교통수단이 두려울 확률

$Health$: 타 수단을 이용할 수 있지만 건강을 위해 도보를 이용할 확률

AVB, ES, SB, W : 각각 자율주행버스, 전동 킥보드, 공유자전거, 도보 교통수단을 나타내는 첨자

Model 3의 정산 결과는 Model 2 결과와 함께 Table 9에 요약 정리되어 있다. 정산 결과 접근 교통수단 선택행태에 있어 위험성이 존재하는 빠른 이륜수단 탑승에 대한 두려움 정도를 간접적으로 반영하고 있는 전동 킥보드와 자전거에 대한 정성적 요인의 계수 값이 모두 음수이다. 이는 이륜수단 탑승에 두려움을 느끼는 정도가 클수록 자전거나 전동 킥보드를 선택하지 않는다고 통행 행태를 설명할 수 있다. 또한 빠른 이륜수단에 대한 두려움이 큰 통행자의 경우 전동 킥보드 보다는 자전거를 더 선호하는 것으로 분석되었다. 건강에 대한 인식을 나타내는 정성적 요인의 계수 값은 예상되었던 바와 같이 양의 값을 가진다. 그러므로 건강을 위해 걷는 것을 선호하는 사람들은 도보를 선택할 확률이 높다고 해석이 가능하며 이러한 통행자 행태가 모형에 반영되었다.

각 계수의 통계적 설명력은 주부에 해당하는 Job 1 더미변수와 건강에 대한 인식에 관한 정성적 요인을 제외하면 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의미하며, Job 1 더미변수는 신뢰수준 90%에서 통계적으로 유의미하다. 건강에 대한 인식에 관한 정성적 요인은 신뢰수준 80%에서 통계적으로 유의한 분석 결과가 도출되었다. 건강과 위험에 대한 정성적 요인을 Model 2에 추가하여 구축된 Model 3의 Adjusted Rho-squared 값 통계치가 0.689으로 Model 2보다 통계적 설명력이 높다. Model 3에 건강 및 안전의 정성적 요인이 추가되면서 통계적으로 더 우수한 모형으로 구축되었는지를 검증하였다. Model 2과 Model 3의 Log-likelihood ratio 값인 Chi-squared(χ^2) 값이 19.66이며, 자유도 3에서 신뢰수준 95%의 임계값 χ^2 값이 7.81이므로 Model 2가 우수하다는 귀무가설을 통계적으로 유의하게 기각할 수 있어 Model 3가 Model 2보다 우수하다고 판단할 수가 있다. 그러므로 본 연구에서 제시한 건강 및 위험성 인식에 대한 정성적 요인이 초단거리 접근교통 수단선택행태를 적합하게 모형에 반영하는 것이라 판단할 수가 있다.

Model 3의 정산 결과에서 통행시간과 통행비용의 추정 계수 값이 Model 1과 Model 2에서의 값과 매우 유사하게 분석 결과가 도출되었다. 그러므로 3개 모형에서 산출된 접근 교통수단의 시간가치는 유사하다. 다만 Model 1 보다는 Model 2가 다소 통행시간에 더 민감하게 분석 결과가 나왔으며, Model 2보다는 Model 3가 통행시간에 또 다소 더 민감한 것으로 분석 결과는 나왔다. 하지만 그 크기에 큰 차이가 없으며 Model 1, Model 2, Model 3에서 자율주행버스의 시간가치는 3,308원/시간, 3,356원/시간, 3,469원/시간이며, 전동 킥보드와 공유 자전거의 시간가치는 2,093원/시간, 2,123원/시간, 2,138원/시간으로 분석되었다.

본 연구에서는 정성적 요인이 수단선택에 미치는 영향을 검토하기 위해 정성적 요인의 영향을 통행시간으로 환산하였다. Model 3에서 건강과 위험에 대한 정성적 요인의 계수 값(β_{mQ})과 수단 별 통행시간 계수 값(β_{mT})을 이용하여 정성적 요인의 가치를 환산하였다. 전동 킥보드 수단으로부터 느끼는 위험성이 1% 증가는 전동 킥보드의 통행시간이 5.06분 추가되는 효과와 동일하였다. 또한 자전거 수단으로부터 느끼는 위험성이 1% 증가는 통행시간이 3.17분 추가되는 효과로 분석되었다. 건강을 생각하여 도보를 이용할 확률이 1% 증가는 도보수단의 통행시간이 4.07분 감소되는 효과와 동일하다. 위험성과 건강에 대한 인식이 시간적 단위로써 영향이 크게는 3.17분-5.06분 정도까지 가 되는 것은 총 통행시간 자체가 작은 초단거리 접근수단선택에서는 상당히 크게 영향을 주는 것으로 판단된다. 본 연구는 건강과 위험에 대한 요소를 계량화하여 교통수단선택 영향을 설명할 수가 있도록 하였으며 통행요금 및 통행시간과 같은 계량화가 가능한 교통서비스와의 대체효과 규모도 분석이 가능하도록 한 점은 의미가 있다고 고려된다.

결론

최근 국내 및 국제적으로 출발 및 도착의 말단 지점에서의 First and Last Mile(FLM) 접근 교통수단들에 대한 관심이 높아졌다. 즉 동력화 및 소형화된 다양한 형태의 퍼스널모빌리티(personal mobility, PM)가 개발되고 현실화가 되고 있다. 이와 같은 초단거리 이동을 위한 접근 교통수단에 대한 정책을 추진하기 위해서는 통행자들의 선호도 및 행태를 이해할 필요가 있다. 그러므로 본 연구는 현 시점에서 통행자들이 쉽게 서비스 속성을 이해할 수 있는 전동 킥보드와 자율주행버스 그리고 자전거와 도보의 4개 접근 교통수단에 대해 선택행태 분석을 수행하였다. 교통수단 선택행태는 통행시간, 통행비용과 같은 정량적 요인뿐만 아니라 안락함, 정시성, 안전성 등의 정성적 요인에도 영향을 받는다. 그래서 본 연구는 그와 같은 정성적 요인을 간접적으로 반영할 수 있도록 정성적 요인을 계량화하고

그 영향을 수치화 할 수 있는 선택모형 정산을 시도하였다. 연구에 사용된 자료는 개인 속성과 교통수단의 선호의식 (stated preference, SP)에 대한 표본 설문조사이며 다양한 설명변수의 조합을 시도하여 통계학적으로 가장 적합한 모형을 제시하였다. 본 연구에서 고려하는 접근수단인 전동 키포드와 공유자전거와 관련된 정성적 요인은 탑승에 대한 위험성이며 도보와 관련된 정성적 요인은 타 수단을 이용할 수 있지만 건강을 위해 도보를 이용하는 성향이다. 정성적 요인을 계량화하기 위해 이항로짓모형을 사용하였으며 구축 결과에서 여성성별을 가지거나 안락함이 교통수단선택에서 가장 중요한 요소인 통행자들은 전동 키포드와 자전거와 같은 빠른 이륜수단의 이용을 회피하는 성향이 있는 것으로 분석이 되었다. 또한 30-59세 연령대, 운전 가능한 통행자, 중소득자 통행자들은 건강에 대한 인식과 관련하여 운동을 위한 도보 수단을 다른 계층보다 덜 선호하는 것으로 분석 결과가 나왔다. 최종 접근교통 수단선택 행태 모형은 통행시간, 통행비용, 20-29세 연령대더미, 성별더미, 직업더미 그리고 위험성과 건강에 대한 인식을 계량화한 변수를 설명변수로 사용하였다. 수단선택 모형에서 주부는 도보를 선호하지 않으며 20대는 전동 키포드를 선호하는 행태를 도출하였다. 또한 빠른 이륜통행수단 탑승에 대한 두려움이 클수록 통행자는 자전거나 전동 키포드를 교통수단으로 선택하지 않았다. 빠른 이륜수단에 대한 두려움이 큰 통행자의 경우 전동 키포드 보다는 자전거를 더 선호하였다. 본 연구에서 정성적 요인인 위험성과 건강에 대한 인식을 계량화 분석함으로써 다른 영향 요소들과의 대체효과가 분석 가능하게 되었다. 즉 접근 교통수단 선택에 있어 위험성에 대한 인식은 전동 키포드는 5.06 분, 자전거는 3.17분의 통행시간과 동일하게 수단선택에 영향을 주는 것으로 분석되었으며, 건강에 대한 인식이 수단선택에 영향을 주는 정도는 보행 통행시간 4.07분이 주는 영향과 동일한 것으로 분석되었다. 본 연구에서 정성적 요인을 계량화하고 수단선택 모형에 적용하여 그 영향을 수치적으로 이해할 수 있게 된 점은 의미가 있는 연구 결과라고 고려된다.

본 연구는 다음과 같은 한계점들이 존재한다. 첫 번째로 기존연구에서 정성적 요인과 관련이 있는 요소들을 이용하여 잠재변수를 구성하고 Hybrid choice model을 구축한다면 모형의 설명 오차가 감소되며 다양한 해석이 가능하다고 제시하였지만 본 연구는 분석 자료의 한계로 인하여 위 방법을 수행할 수 없었다. 향후 초단거리 교통수단과 관련된 설문조사 자료를 사용하여 잠재변수를 구축하고 수단선택모형에 반영한다면 더 발전된 연구결과를 도출할 수 있을 것이다. 두 번째로 자료의 한계로 접근통행의 거리를 알 수 없었으므로 본 연구는 통행거리에 대한 변수를 모형에 추가할 수 없었다. Tilahun et al.(2016), Meng et al.(2016), Fan et al.(2019) 등 기존연구에서 접근거리가 교통수단 선택행태에 통계적으로 유의하다는 연구 결과를 발표하였다. 따라서 향후연구에서는 좀 더 많은 자료를 이용하여 접근거리별로 차이가 나는 통행자의 접근 교통수단 선택행태를 분석할 수 있다면 모형의 설명력을 높힐 수 있을 것이라 기대한다.

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 대한교통학회 제82회 학술발표회(2020.6.25.-2020.6.26.)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

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

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

YOO, Hansol  <http://orcid.org/0000-0001-8261-0811>

References

- Alex A. P., Manju V. S., Kuncheria P. I. (2016), Latent Variable Enriched Mode Choice for Work Activity in Multi Modal Condition Prevalent in India, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 6(4), City Net Scientific Research Center Ltd., 378-389.
- Ben-Akiva M., Lerman S. R. (1985), *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, England, 165-166.
- Ben-Akiva M., Mcfadden D., Garling T., Gopinath D., Walker J., Bolduc D., et al. (1999), Extended Framework for Modeling Choice Behavior, *Marketing Letters*, 10(3), 187-203.
- Bhin M. Y., Son S. K. (2019), A Study on the Evaluation of Social Acceptability after Boarding Automated Shuttle Bus: Pango Zero Shuttle, *J. Korean Soc. Transp.*, 37(5), Korean Society of Transportation, 375-386.
- Chang Y. (2013), Factors Affecting Airport Access Mode Choice for Elderly Air Passengers, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 57, Elsevier, 105-112.
- Chen J., Li S. (2017), *Mode Choice Model for Public Transport with Categorized Latent Variables*, *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi, 2017.
- Cherry C., Cervero R. (2007), Use Characteristics and Mode Choice Behavior of Electric Bike Users in China, *Transportation Policy*, 14(3), Elsevier, 247-257.
- Ding L., Zhang N. (2016), A travel Mode Choice Model Using Individual Grouping Based on Cluster Analysis, *Procedia engineering*, 137, Elsevier, 786-795.
- Fan A., Chen X., Wan T. (2019), How Have Travelers Changed Mode Choices for First/Last Mile Trips after the Introduction of Bicycle-Sharing Systems: An Empirical Study in Beijing, China, *Journal of Advanced Transportation*, 2019, Hindawi, 1-16.
- Harvey G. (1986), Study of Airport Access Mode Choice, *Journal of Transportation Engineering*, 112(5), Ascelibrary, 525-545.
- Jung H. Y., Kim J. J. (2000), Mode Choice Behavior Analysis of Commuter Feeder Passengers to Subway System, *J. Korean Soc. Transp.*, 18(5), Korean Society of Transportation, 69-82.
- Kim J. H., Chung J. H., Sohn K. M. (2010), Combined RP/SP Model with Latent Variables, *J. Korean Soc. Transp.*, 28(4), Korean Society of Transportation, 119-128.
- Kim J., Rasouli S., Timmermans H. (2014), Hybrid Choice Models: Principles and Recent Progress Incorporating Social Influence and Nonlinear Utility Functions, *Procedia Environmental Sciences*, 22, Elsevier, 20-34.
- Kim M. S. (1999), Development of the Mode Choice Models in Tourism Region Considering Latent Variables, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 19(3-4), 603-613.

- Korea Health Promotion Foundation (2016), Severe Lack of Korean Exercise, Half of the Office Workers Walk less than 30 Minutes a Day. (한국인 운동부족 심각, 직장인 절반은 하루 30분도 안 걸어)
- Korea Transport Database (2019), National Transportation Survey·DB System Operation and Maintenance, 2, 307.
- Korf J. L., Demetsky M. J. (1981), Analysis of Rapid Transit Access Mode Choice, *Transportation Research Record*, 817, Transportation Research Board, 29-35.
- Lee H. K., Kim J. S. (2009), A Study on Bicycle Mode Choice Model Influencing Commuters' Perception Attribute: In Case of Changwon City, *Journal of Transport Research*, 16(4), The Korea Transport Institute, 1-14.
- Meng M., Koh P. P., Wong Y. D. (2016), Influence of Socio-Demography and Operating Streetscape on Last-Mile Mode Choice, *Journal of Public Transportation*, 19(2), 38-54.
- Moon J. U. (2009), A Study on Bicycle Accident's Decrease Method through Recognition Tendency Survey and Accident Analysis: In Seoul Citizen, Kookmin University, Master's Thesis.
- Paulssen M., Temme D., Vij A., Walker J. L. (2014), Values, Attitudes and Travel Behavior: A Hierarchical Latent Variable Mixed Logit Model of Travel Mode Choice, *Transportation*, 41(4), Springer, 873-888.
- Sanders R. L., Branion-Calles M., Nelson T. A. (2020), To Scoot or not to Scoot: Findings from a Recent Survey about the Benefits and Barriers of Using E-scooters for Riders and Non-riders, *Transportation Research Part A*, 139, Elsevier, 217-227.
- Shaheen S. A., Rodier C. J. (2008), Easyconnect: Low-speed Modes Linked to Transit Planning Project, Working Paper UCB-ITS-PWP-2006-7, California PATH, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- Shin G. W., Lee K. J., Park D., Lee J. H., Yun M. H. (2018), Personal Mobility Device and User Experience: A State-of-the-art Literature Review, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 62(1), Sage, 1336-1337.
- So J. H., Kim T. H., Kim M. J., Kang J. W., Lee H., Choi J. M. (2019), A Study on the Concept of Smart City and Smart City Transport, *J. Korean Soc. Transp.*, 37(2), Korean Society of Transportation, 79-91.
- Sobieniak J., Westin R., Rosapep T., Shine T. (1979), Choice of Access Mode to Intercity Terminals, *Transportation Research Record*, 728, *Transportation Research Record*, 47-53.
- Sohn K. M., Yun J. Y. (2009), Separation of Car-dependent Commuters from Normal-choice Riders in Mode-choice Analysis, *Transportation*, 36(4), Springer, 423-436.
- Tak S. H., Kang K. P. (2019), Strategies for Smart Transportation System Considering Level of Automated Driving Technology and Infrastructure, The Korea Transport Institute.
- Tilahun N., Thakuriah P. V., Li M., Keita Y. (2016), Transit Use and The Work Commute: Analyzing the Role of Last Mile Issues, *Journal of Transport Geography*, 54, Elsevier, 359-368.
- Tsamboulas D., Golias J., Vlahoyannis M. (1992), Model development for metro station access mode choice, *Transportation*, 19(3), Springer, 231-244.