

# 주행거리 기반 세제 도입에 따른 운전자 행태 모형 개발: 부산광역시를 중심으로

김민정<sup>1</sup> · 김희경<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>동아대학교 도시계획·조경학과 박사수료, <sup>2</sup>동아대학교 도시계획공학과 부교수

## Development of Driver's Behavior Model Based on Introduction of Vehicle Mileage Traveled Tax: Focusing on Busan Metropolitan City

KIM, Minjeong<sup>1</sup>  · KIM, Hoe Kyoung<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Urban Planning and Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Dong-A University, Busan 49315, Korea

\*Corresponding author: hoekim@dau.ac.kr

### Abstract

As the penetration rate of eco-friendly and high-efficiency vehicles increases, the demand for petroleum fuel in vehicles of internal combustion engines can decrease, resulting in deteriorating the security of transportation-related tax. Besides, improved fuel efficiency is inclined to cause unfair use of traffic infrastructures like roads between high- and low-efficiency vehicles. Some countries have attempted to alleviate the severity of these problems by implementing vehicle mileage traveled tax (VMT tax). This study investigated the impact of the VMT tax on drivers' behavior and revealed the underlying factors affecting them through the polynomial logit model developed based on a stated-preference survey data which has been collected with drivers in Busan Metropolitan City, whose traffic congestion cost is highest in Korea. The VMT tax is imposed at higher rates to vehicles when driving during peak hours and on congested road, and accordingly, alternatives that drivers can choose are to adhere to the existing trip, to change departure time, to change the route, and to switch the mode to public transit. According to the analysis results, the factors affecting the change in the departure time of the trip are trip purpose, peak time departure, vehicle ownership, and willingness to pay for VMT tax. Secondly, the factors influencing the route change are age, income, and trip purpose. Lastly, the factors attributable to the mode change to the public transit are trip purpose, income, vehicle ownership, vehicle type, and fuel type. This study suggests three VMT tax-involved policies not only to sustainably secure transportation-related tax revenues but also to improve the transportation system such as reducing traffic congestion and air pollution. They are to impose differential VMT tax proportional to income level, to stimulate flexible working, and to improve the public transit system.

**Keywords:** congestion cost, multinomial logistic regression, stated-preference survey, travel behavior, vehicle mileage traveled tax

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.38, No.6, pp.507-519, December 2020  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2020.38.6.507>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

#### ARTICLE HISTORY

Received: 4 June 2020

Revised: 30 June 2020

Accepted: 31 August 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

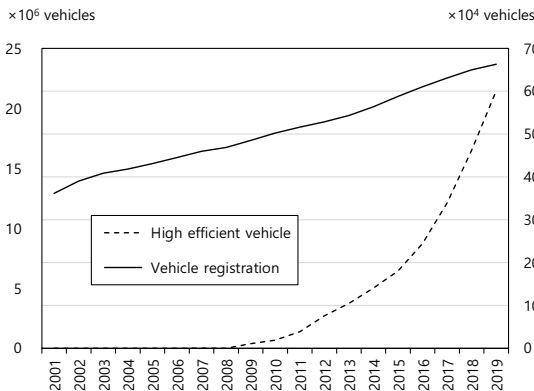
친환경·고효율 차량의 보급이 확대됨에 따라 내연기관 차량의 석유연료 수요가 감소하고 그에 따른 교통관련 세수 확보 여건이 악화되었다. 아울러 차량 연료 효율이 개선되면서 저효율-고효율 차량 간 비용 불공평 문제가 발생하고 있으며, 이를 완화하기 위해 교통선진국들을 중심으로 주행거리세의 도입이 시도되고 있다. 본 연구는 향후 주행거리세의 국내 도입에 따라 예상되는 통행행태 변화를 분석하고자 전국 1인당 교통혼잡비용이 가장 높은 부산광역시 운전자들을 대상으로 진술선호 방식 설문조사를 실시하였으며, 다항 로지스틱 회귀분석을 통해 주행거리세의 시행에 따른 운전자들의 통행행태 변화와 그 영향 요인을 살펴보았다. 주행거리세의 징수 방식은 첨두시간과 혼잡구간을 주행하는 차량에 더 높은 요금을 부과하도록 정의하였고, 이에 따라 운전자들이 선택 가능한 대안을 기존 통행유지, 출발시간 변경, 경로변경, 대중교통으로 수단 전환이라는 네 가지 대안으로 구분하여 분석하였다. 그 결과, 주행거리세 시행에 따라 출발시간 변경에 영향을 미치는 요인은 통행목적, 첨두시간 출발여부, 자차여부, 주행거리세 지불의사액이고, 경로 변경에 영향을 미치는 요인은 연령, 소득, 통행목적이며, 마지막으로 대중교통으로 수단 전환에 영향을 미치는 요인은 소득, 통행목적, 자차여부, 차량종류, 차량연료인 것으로 나타났다. 분석결과를 토대로 향후 주행거리세를 통한 세수 확보와 교통정체 및 대기오염 감소 등 교통시스템 개선을 위한 다양한 정책적 고려사항을 제시하였다.

**주요어:** 혼잡요금, 다항 로지스틱 회귀분석, 진술선호조사, 통행행태, 주행거리세

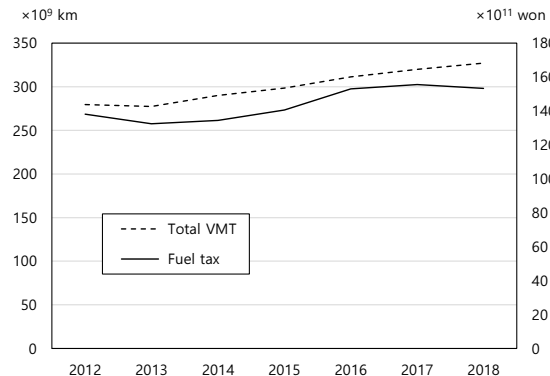
## 서론

대부분의 국가들은 유류세를 통해 교통인프라 건설 및 유지·관리에 소요되는 비용을 충당하고 있지만 최근 친환경·고효율 차량의 보급이 확대됨에 따라 내연기관 차량의 석유연료 수요가 줄어들고 있어 일부 국가들은 유류세 징수 감소에 따른 세수 부족 문제를 겪고 있다. 특히 미국에서는 전기차 보급수준이 전체 등록차량 대비 1.0% 미만임에도 불구하고 연간 2억 5천만 달러에 달하는 유류세가 감소하는 것으로 보고되고 있다(Davis and Sallee, 2020). 아울러 대체연료 차량이 개발되고 연료 효율이 개선됨에 따라 저효율 차량과 고효율 차량 간 교통인프라 이용의 비용 불공평 문제는 고조될 것으로 예상된다.

Figure 1에서 알 수 있듯이 우리나라 친환경·고효율 차량의 보급은 하이브리드 차량이 급증하기 시작한 2008년을 시작으로 2019년까지 연평균 65.0%의 가파른 증가세를 보이고 있으며(MOLIT, 2020), Figure 2에서 연간 차량총 주행거리는 매년 일정한 폭으로 증가하는 반면 유류세 징수액은 그에 미치지 못하고 있다(KOSIS, 2020;



**Figure 1.** Increasing trend of vehicle registration and high efficient vehicle



**Figure 2.** Increasing trend of VMT and fuel tax

National Tax Statistics, 2020). 향후 친환경·고효율 차량의 보급 확대에 따른 세수 부족 현상이 예상되는 바 유류세에 의존하는 우리나라의 세수 정책이 지속가능한 교통부문 재원을 확보하고 이용자 측면의 형평성을 담보하기 위해서는 새로운 과세정책 대안을 제시할 필요성이 있다.

일부 교통선진국을 중심으로 유류세를 대체할 수 있는 주행거리세(Vehicle Mileage Traveled Tax, VMT Tax)가 주목받고 있는데 주행거리세는 차량이 주행한 거리에 비례하여 과세하는 정책으로 차종 간의 과세 형평성이 담보되는 동시에 국가 기간교통망의 유지·관리에 필요한 지속가능한 재원 확보가 가능한 정책이다. 미국은 몇몇 주(State)를 대상으로 주행거리세 시범사업을 추진하고 있으며, 네덜란드, 스위스, 뉴질랜드 등의 국가들은 화물차량을 대상으로 주행거리 기반 과세정책을 시행하고 있다.

이들은 거리 당 고정요금에 첨두시간, 혼잡구간, 차종, 배기량 등을 고려한 차등요금을 부과하는 방식을 적용함으로써 도로혼잡 및 대기오염 감소 등 외부비용의 내부화를 도모하였다. 또한 다수의 연구에서 주행거리세 시행에 따른 운전자의 통행행태 변화를 관찰함으로써 통행행태 변화 양상과 그로 인한 차량 주행거리 및 도로혼잡 감소 효과 그리고 행태 변화에 미치는 영향인자를 확인하였다.

한편, 주행거리세가 운전자의 통행행태에 직접적인 영향을 미치는 정책임에도 불구하고 최근까지 수행된 국내 연구들은 교통관련 세수 현황 및 사례 분석을 통해 주행거리세 도입의 필요성을 제시하는 등 대체로 경제적 측면에 집중하고 있어 교통 측면에서 그 영향이나 효과를 분석한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 첨두시간과 혼잡구간을 주행하는 차량에 더 높은 요금을 부과하는 방식의 주행거리세를 통해 외부비용의 내부화를 도모하고, 이러한 과세정책이 도입될 경우 운전자의 통행행태 변화 및 통행행태 선택에 영향을 미치는 운전자 특성 및 차량 요인을 파악하고자 하였다. 이를 위해 진술선호(Stated Preference, SP) 방식의 설문 조사를 실시하여 부산광역시 운전자들의 통행행태 선호를 파악하였으며, 다항로지스틱 회귀분석(Multinomial Logistic Regression)을 통해 그들의 통행행태 선택에 영향을 미치는 주요 인자들을 해석함으로써 새로운 과세정책의 도입에 대한 시사점과 정책 방향을 제시하고자 하였다.

## 문헌고찰

주행거리가 증가할수록 교통혼잡, 환경오염 그리고 교통사고와 같은 외부비용이 발생하는데, 주행거리세는 이러한 외부성을 유발하는 행위에 대해 조세를 부과함으로써(Lee, 2008) 외부비용을 내부화하는 것으로 정의할 수 있다. 또한 이에 대한 연구가 일부 교통선진국을 중심으로 진행 중에 있다.

주행거리세 관련 국내연구는 주로 교통부문 세수 부족 문제를 지적하고 주행거리세 도입의 필요성을 강조하고 있다. Cho et al.(2006) 및 Lee(2008)는 우리나라 교통부문 세수 현황을 진단하고 지속적인 교통투자과 안정적인 재원 확보의 필요성을 언급하였다. Choi(2017)는 장래 휘발유 및 경유 사용의 감소로 인한 교통세 기반 투자재원 확보의 어려움을 예상하였다. Choi(2019)는 국내 친환경 차량 보급 추이와 향후 교통분야 세입감소 금액을 산출함으로써 새로운 세수 확보 정책으로 주행거리세의 필요성을 뒷받침하였고, 해외 주요국의 주행거리세 관련 동향 파악을 통해 국내 도입 시 고려해야 할 정책 방안을 제시하였다. Kim et al.(2014)은 교통에너지환경세의 개편과 관련하여 교통에너지환경세를 개별소비세로 통합하는 방안, 교통에너지환경세를 분리 운영하는 세율 조정 방안 그리고 주행거리세를 도입하는 방안으로 구분한 후 비교 분석하였는데 그 중 교통에너지환경세를 주행거리세로 전환하는 방안이 장기적인 차원에서 가장 적합하다는 결론을 도출하였다. 그러나 상기 연구를 포함한 대부분의 국내 연구들은 주행거리세를 경제적인 관점에서 분석하거나 현상파악 및 문제점 지적 단계에 그치고 있다는 한계가 있다.

국외연구의 경우, 주행거리세 실시를 위한 제반기술과 구체적인 운영방법에 대한 연구 그리고 주행거리세의 효과 분석에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 특히 주행거리세의 효과를 분석한 연구에는 주행거리세의 시행에 따른 통행행태 변화와 같이 단기적인 차원의 영향을 살펴본 연구들(Ubbels and Verhoef, 2006; Anthony and Thomas, 2008)과 차량 소유형태 및 주거형태의 변화와 같은 장기적인 차원의 영향을 살펴본 연구들이 수행되었다(Zhang

and Lu, 2012; Tillema et al., 2010; Hoen and Koetse, 2014).

Ubbels and Verhoef(2006)는 진술선호(Stated Preference, SP) 방식의 설문조사를 통해 주행거리세 시행에 대한 운전자들의 통행행태를 분석하였는데, 킬로미터 당 고정요금을 징수하는 방식과 첨두시간에 더 높은 요금을 징수하는 방식을 비교하였다. 그 결과 고정요금 방식은 통근자의 통행행태에 거의 영향이 없는 반면, 첨두시간 주행 차량에 대한 차등 주행거리세 방식은 약간의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 주행거리세가 통근자의 통행행태에 영향을 미치기 위해서는 더 높은 수준의 차등 요금을 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한 쇼핑·여가 목적의 단거리 통행자는 무동력 수단으로의 전환을 선호하고 차량을 이용하는 통근자는 출발시간을 변경하는 것을 더욱 선호하는 것과 같이 통행목적에 따라 통행행태가 다르게 나타나는 것을 확인하였다.

미국 오레곤(Oregon)주에서는 2006년과 2007년에 GPS 장비를 장착한 차량들을 대상으로 기존의 유류세를 그대로 징수하는 그룹(control-group), 주행거리에 대해 정액 요금을 징수하는 그룹(flat-rate group) 그리고 첨두시간과 혼잡구역을 주행하는 차량에 더 높은 요금을 징수하는 그룹(peak-charged group)으로 구분하여 주행거리세 시범사업을 수행하였다. Rufolo and Kimpel(2008)은 오레곤(Oregon)주의 실험결과를 바탕으로 peak-charged group이 flat-rate group에 비해 첨두시간 동안 주행한 거리를 약 20% 줄인 것을 확인하였으며, 인구특성 및 태도 변수가 운전패턴에 영향을 미치는지 회귀분석 한 결과 성별과 가구 구성원 수 등 개인의 특성이 주행한 총 거리 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 유사한 관련 연구에서는 주행거리세를 차별적으로 적용할 경우 운행시간, 구간 혼잡정도, 자차여부, 차량 배기량 등에 따라 기본 주행거리세에 비해 약 20%의 통행량이 줄어드는 것을 확인하였다(Anthony and Thomas, 2008; Oregon Department of Transportation, 2013).

Guo et al.(2011)은 운전자의 사회경제적 특성 외에 도시의 특성이 주행거리세 시행에 따른 통행행태 변화에 영향을 미친다는 사실을 밝혔다. 토지이용이 혼합된 고밀도 지역에서 peak-charged group의 주행거리는 다른 지역의 peak-charged group보다 줄어들고, flat-rate group의 주행거리는 늘어나는 것으로 나타났다. Zhang and Lu(2012)는 2009년 미국 전국가구통행조사 자료(National Household Travel Survey, NHTS)와 개별선호조사 자료를 이용하여 주행거리세 시행에 따른 차량 소유형태의 변화를 분석한 결과, 주행거리세의 시행이 차량의 주행거리와 온실가스 배출량을 감소시킨다는 내용을 도출하였다. 또한 네덜란드는 종래의 차량 보유세 징수 방식을 주행거리에 따른 킬로미터세(Kilometer charge)로 변경하는 과정에서 첨두시간 및 혼잡구간 주행여부, 차종에 따른 차등 요율을 적용함으로써 세수 확보는 물론이고 교통혼잡 감소, 대중교통으로 수단 전환, 그리고 대기오염 감소효과를 확보하고자 하였다(Korea Institute of Public Finance, 2010).

주행거리세 관련 기존의 연구들을 요약하면, 기본 주행거리세 부과 방식보다 도로혼잡이나 도로파손에 미치는 영향을 고려한 차등 주행거리세 운영 방식을 통해 세수의 안정적인 확보뿐만 아니라 교통혼잡 및 대기오염 감소와 같은 도시교통문제의 완화 효과를 기대할 수 있다. 이러한 효과는 실질적으로 주행거리세에 대한 개별 운전자의 통행행태 변화에 따라 달라질 수 있으며, 이에 대한 분석 방법으로는 진술선호 방식의 설문조사를 통해 다수의 선택대안을 확률적으로 추정하는 다항 로지스틱 회귀분석이 활용되고 있다.

## 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 제안하는 주행거리세는 주행거리의 증가에 따라 발생하는 외부비용을 내부화하기 위하여 비첨두시간이나 비혼잡구간을 주행하는 차량에 비해 첨두시간이나 혼잡구간을 주행하는 차량에 더 높은 요금을 부과하는 방식을 적용하고 있다. 따라서 개별 차량이 지불해야 할 총 주행거리세는 Equation 1과 같이 산정할 수 있다.

$$T_{VMT} = T_n + T_p + T_c + T_{pc} \quad (1)$$

여기서,  $T_{VMT}$  : 총 주행거리세

$T_n$  : 비첨두시간(non-peak hour)과 비혼잡구간(non-congested road) 요금

$T_p$  : 첨두시간(peak hour) 요금

$T_c$  : 혼잡구간(congested road) 요금

$T_{pc}$  : 첨두시간(peak hour)과 혼잡구간(congested road) 요금

본 연구는 주행거리세의 도입에 따른 운전자의 통행행태 변화를 분석하기 위하여 다수의 선택 대안들을 제시하고, 첨두시간과 혼잡구간에 대한 주행요금이 기본요금보다 더 부과될 경우 운전자의 입장에서 최선이라고 판단하는 대안을 선택하게 하는 잠재선호 방식의 설문조사를 실시하였다. 설문조사에서 주행거리세의 시행에 따라 운전자가 선택할 수 있는 대안은 기존 통행유지, 출발시간 변경, 경로 변경, 대중교통으로의 수단 전환 등 크게 네 가지로 설계하였으며, 응답자와 관련된 정보로 사회경제적 특성, 통행특성, 차량특성 그리고 주행거리세 지불의사액을 조사하였다. 따라서 본 연구에서는 세 가지 이상의 선택대안에 대한 확률선택모형인 다항 로지스틱 회귀분석을 분석수단으로 활용하였으며, 분석결과를 통해 주요 영향인자를 도출하고 주행거리세 도입 시 고려해야 할 정책적 시사점을 도출하고자 하였다.

또한 기존의 연구에서 살펴본 바와 같이 교통정체 해소나 온실가스 배출량 감소 등 주행거리세의 시행이 교통시스템에 미치는 영향에 대한 평가를 향후 연구로 수행할 것을 고려하여, 서울특별시와 6대 광역시 중 1인당 교통혼잡비용이 가장 큰 부산광역시를 연구 대상으로 선정하였다(Cho et al., 2014).

## 자료구축 및 자료특성

본 연구는 주행거리세의 시행에 따라 예상되는 운전자의 통행행태 변화를 분석하기 위해 진술선호 방식의 설문조사를 실시하였다. 설문을 통해 응답자의 사회경제적 특성(성별, 연령, 소득, 직업), 통행특성(통행목적, 차량운행횟수, 출발시간, 통행시간), 차량특성(차차여부, 차종, 연료), 주행거리세 지불의사액 그리고 주행거리세 시행에 따른 통행행태 선호 대안(기존 통행유지, 출발시간 변경, 경로 변경, 대중교통으로의 수단 전환)을 조사하였다. Table 1에서 설문조사는 부산광역시 주례, 사하, 해운대에 위치한 세 곳의 차량검사소를 방문하는 운전자 417명을 대상으로 실시하였고, 2019년 11월 12일(화)과 2019년 11월 15일(금) 양일간 368부의 유효 샘플을 확보하였다.

**Table 1. Overview of survey**

Category	Description
Period	November 12, 2019 (Tuesday) and November 15, 2019 (Friday)
Location	Vehicle inspection stations (Jurae, Saha, Haeundae)
Surveyee	Regular drivers
Method	1:1 personal interview
Effective samples	368 out of 417

Figure 3에서 설문응답자의 기초통계량을 살펴보면, 조사집단의 성별은 남성이 226명(59.5%) 그리고 여성이 154명(40.5%)으로 부산광역시 2018년 운전면허소지자의 성비(남 59.5%, 여 40.5%)와 일치하였다. 연령의 경우 모든 연령대에 고르게 분포하고 있지만 30대부터 50대까지 집중하는 경향을 보였다. 설문 응답자는 차량검사소를 방문하는 운전자가 무작위로 선정되었으므로 표본의 연령대 비율을 모집단과 일치시키는 것은 어려움이 있었다. 그러나 각 연령대별 구성비 차이가  $\pm 3.5\%$  범위 내에 있어 표본이 비교적 모집단을 대표하는 것으로 판단된다. 응답자의 직업은 회사원이 188명(51.1%)으로 가장 많았으며 자영업이 56명(15.2%)으로 그 뒤를 따랐다. 또한 10년 이상의 운전경력을 가진 응답자가 250명(67.9%)으로 다수를 차지하였으며, 주행하는 차량의 종류는 대부분 승용차와 SUV로 349명(94.9%)을 차지하였다. 사용하는 차량연료로는 휘발유와 경유가 329명(89.4%)인데 비해 전기나

하이브리드 차량은 10명(2.7%)에 불과하였고, 설문에 응답한 351명(95.4%)은 자가용 차량을 주행하는 것으로 나타났다.

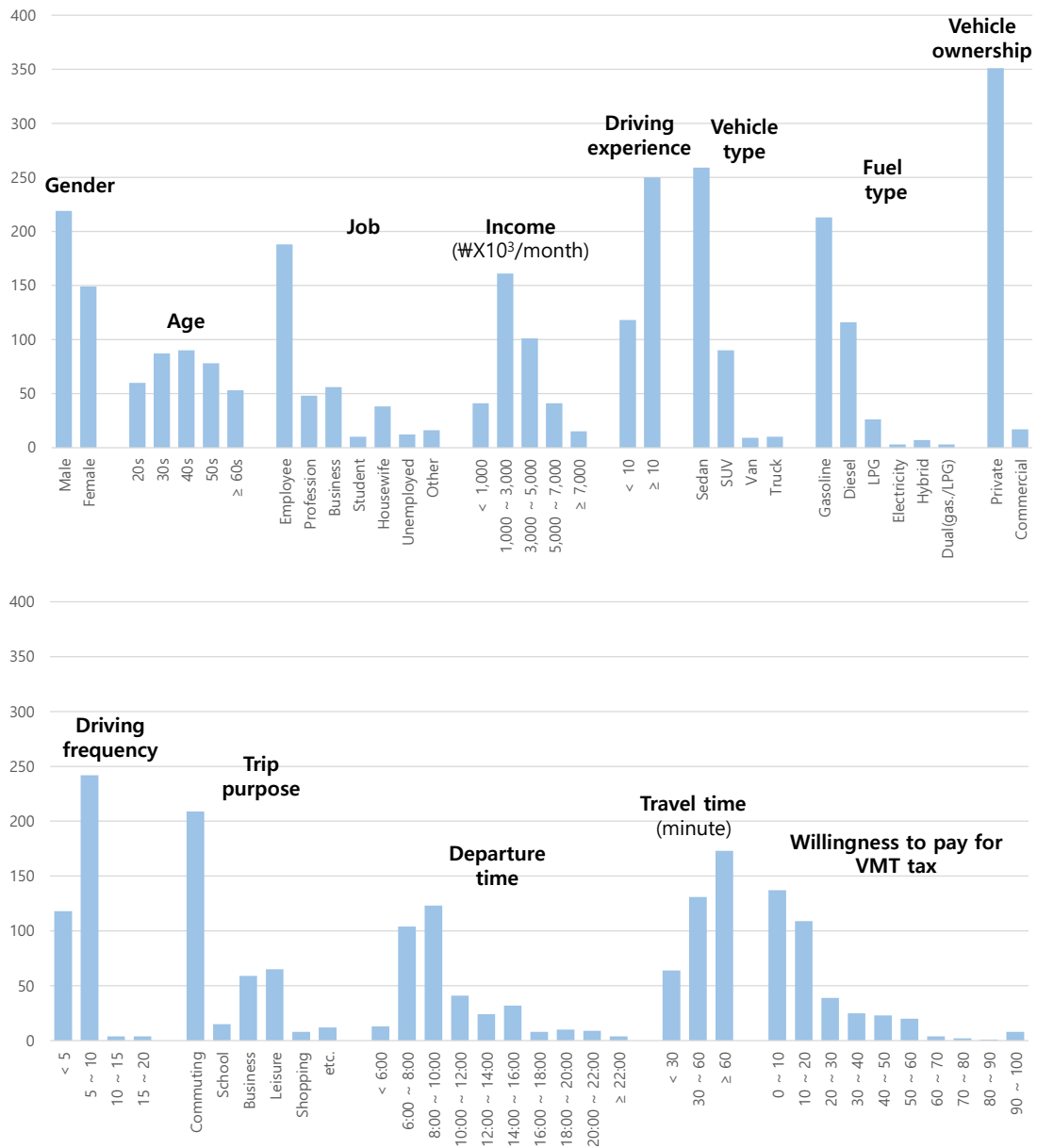


Figure 3. Descriptive statistics of the survey data

응답자의 통행특성을 살펴보면 운전자들은 대부분 일주일에 10회 미만(97.8%)으로 차량을 운행하고, 통행목적은 출퇴근이 209명(56.8%), 여가가 65명(17.7%), 업무가 59명(16.0%) 순으로 나타났다. 응답자들은 대체로 오전에 통행을 시작하였고, 30분 이상 통행하는 응답자가 304명(82.6%)으로 대부분을 차지하였다. 마지막으로 응답자의 285명(77.5%)은 30원/km까지 주행거리세를 지불할 의사가 있는 것으로 나타났다.

Figure 4와 Table 2는 첨두시간과 혼잡도로에 대한 차등 주행거리세가 적용된 상황에서 운전자의 통행행태를 선택하는 설문내용과 각각의 대안 별 선택 비율을 나타내고 있다. 운전자의 통행행태에 대한 선택 비율은 기존의 통행

을 유지하려는 운전자가 132명(35.9%)으로 가장 많았고, 경로를 변경하려는 운전자가 96명(26.1%), 출발시간을 변경하려는 운전자가 76명(20.7%), 마지막으로 대중교통으로 수단을 전환하겠다는 운전자가 64명(17.4%) 순으로 나타났다. 특정 통행특성에 압도적으로 편향되는 경향이 없음을 주목할 필요가 있다.

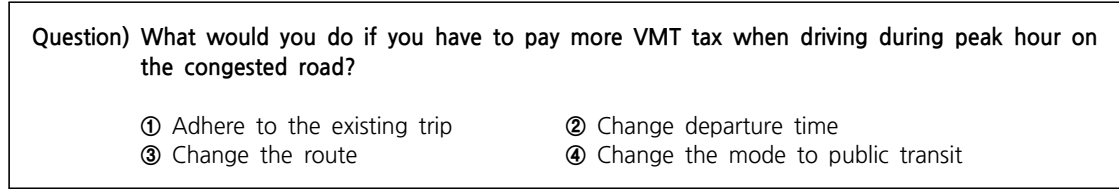


Figure 4. Selectable trip behavior to VMT tax in the survey

Table 2. Choice rate of trip behavior to VMT tax

Category	Trip adherence	Departure time change	Route change	Mode change to public transit	Sum
Response (%)	132 (35.9)	76 (20.7)	96 (26.1)	64 (17.4)	368 (100.0)

## 주행거리세 시행에 따른 운전자 통행행태 분석

### 1. 다항 로지스틱 회귀분석

다항 로지스틱 회귀분석은 선택 가능한 대안, 즉 종속변수의 범주가 3개 이상인 경우에 응답자의 특성을 나타내는 정보를 이용하여 어떤 범주에 속하거나 선택할 것인가를 예측하기 위한 모형 개발에 사용된다. 다항 로지스틱 회귀분석에서는 종속변수  $y_i$ 가  $J$ 개의 범주( $y_i = 1, 2, 3, \dots, J$ ) 중 어느 한 범주 값을 가질 수 있는 확률, 즉 응답자  $i$ 가 범주  $j$ 를 선택할 확률을  $P_{ij}(y_i = j)$ 로 표시하고, 이러한 확률값을 예측하는 모형을 개발하는 방법이다. 다항 로지스틱 회귀분석에서 회귀계수를 추정하는 방법은 이항 로지스틱 회귀분석에서 계수를 추정하는 방법과 거의 동일하지만 응답자가 선택할 수 있는 범주의 수가 3개 이상이므로 이들 중 어느 하나를 선택하여 기준범주로 설정해야 한다.

응답자  $i$ 가 특정한 범주  $j$ 를 선택할 확률  $P_{ij}$ 를 기준범주  $J$ 를 선택할 확률  $P_{iJ}$ 로 나눈 값, 즉 대안  $J$ 에 비해 대안  $j$ 를 선택하게 될 확률의 비  $\left(\frac{P_{ij}}{P_{iJ}}\right)$ 에  $\log$ 를 취하여 이를 Equation 2와 같은 종속변수로 사용한다.  $P_{ij}$ 를 중심으로 다시 정리하면 Equation 3과 같은 다항 로지스틱 회귀모형이 도출된다(Lee, 2017).

$$\log_e \left[ \frac{P_{ij}}{P_{iJ}} \right] = \log_e \left[ \frac{P_i(y_i = j)}{P_i(y_i = J)} \right] = \sum_{m=0}^M \beta_{jm} x_{im} = \beta_{j0} + \beta_{j1} x_{i1} + \dots + \beta_{jM} x_{iM} \quad (2)$$

여기서,  $\beta_{jm}$  : 응답자의  $m$  번째 속성이 기준범주  $J$ 에 비해 범주  $j$ 를 선택할 확률에 미치는 영향정도를 나타내는 계수

$x_{im}$  : 응답자  $i$ 의  $m$  번째 속성 값,  $x_{i0} = 1$

$M$  : 독립변수의 수

$$P_{ij} = \frac{\exp(\beta_{j0} + \beta_{j1} x_{i1} + \dots + \beta_{jM} x_{iM})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta_{j0} + \beta_{j1} x_{i1} + \dots + \beta_{jM} x_{iM})} \quad (3)$$

로지스틱 회귀계수는 로짓, 확률 그리고 승산을 이용하여 해석할 수 있다. 로짓을 이용하는 방법은 적용이 단순하지만 의미가 명확하지 않고 확률을 이용하는 방법은 의미 있는 해석이 가능하지만 특정한 종속변수의 값( $k$ )에서 독립변수의 효과를 계산하는 방법이므로  $k$ 값을 정의해야 하는 문제점이 있다. 승산을 이용하는 방법은 적용이 용이하고 해석의 의미도 명확하여 본 논문에서 회귀계수의 해석을 위해 이용하고 있다(Hong, 2011).

승산(Odds)은 사건이 발생할 확률  $p$ 와 발생하지 않을 확률  $1-p$ 의 비율( $Odds = \frac{p}{1-p}$ )을 의미한다. 독립변수  $x$ 의 로지스틱 회귀계수  $\beta$ 를  $\exp(\beta)$ 로 변환시킨 값은 변수  $x$ 를 한 단위 증가시키면 얻어지는 종속변수의 승산 증가 배수이며, 이 때  $\exp(\beta)$ 를 승산비(Odds ratio, OR)로 정의한다. 로지스틱 회귀분석에서  $\exp(\beta)$ 는 종속변수의 승산에 대한 변화량이 아닌 변화 배수이므로  $\exp(\beta)$ 가 1이면 종속변수에 대한  $x$ 의 효과는 없는 것과 같다. 독립변수가 한 단위 증가할 때 승산에 있어서의 변화 백분율은 Equation 4와 같다(Hong, 2011).

$$\Delta\% = 100(\exp(\beta) - 1) \tag{4}$$

## 2. 변수선정

본 연구는 다항 로지스틱 회귀모형의 개발을 통해 개별 대안 선택에 영향을 미치는 요인들의 특징을 분석하고 있다. 이를 위해 기존 통행유지, 출발시간 변경, 경로 변경, 대중교통으로의 수단 전환이라는 네 가지 유형의 선택 가능한 대안을 제시하였고, 설문조사 응답자는 효용이 최대가 되는 대안을 선택하게 함으로써 각 대안의 상호배타성을 확보하였다. 또한, 대안 선택에 영향을 미칠 것으로 예상되는 운전자들의 사회경제적 특성, 통행특성, 차량특성 그리고 주행거리세 지불의사액을 분석에 적용하였다. 최종적으로 선정된 변수는 Table 3과 같다.

**Table 3. Definition of variables for multinomial logistic model development**

Category	Variable		Description
Dependent	Response to VMT tax		1 : Trip adherence
			2 : Departure time change
			3 : Route change
			4 : Mode change to public transit
Independent	Driver's socioeconomic information	Gender	0 : Male 1 : Female
		Age	0 : $\geq 60s$ 1 : $< 60s$
		Monthly income	₩1,000,000-₩7,000,000 in ₩1,000,000 increment
		Job	0 : Employed 1 : Unemployed
	Trip characteristics	Trip purpose	0 : Commuting and school 1 : Others
		Driving frequency	Times per week
		Departure time	0 : Peak hour 1 : Non-peak hour
		Travel time	Minutes
	Vehicle characteristics	Ownership	0 : Private 1 : Commercial
		Type	0 : Sedan, SUV 1 : Others
		Fuel type	0 : Involved with fuel tax (i.e., gasoline, diesel) 1 : Non involved with fuel tax (i.e., electricity)
	Willingness to pay for VMT tax		₩0-₩100/km

Note: the dependent variable uses "trip adherence" as the reference variable and the independent variables use the last coded value as the reference value.



### 3. 주행거리세 시행에 따른 통행행태 분석

주행거리세 시행에 따른 부산광역시 운전자의 통행행태 선택 예측모형 구축을 위해 다항 로지스틱 회귀모형을 개발하였다. 분석 결과, 기저모형의  $-2\ln L$  값과 분석모형의  $-2\ln L$  값의 차이인 Chi-Square 값 77.413은 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 통행행태 선택에 유의미하게 영향을 미칠 것으로 예상되는 독립변수를 모두 투입하여 1차 모형을 추정하였고, 이때 유의수준 10%에서 통계적으로 유의미하게 도출된 변수들만을 투입하여 최종모형을 도출하였다.

Table 4는 추정모형의 최대우도 추정계수(Maximum Likelihood Estimates)와 승산비(Odds Ratio)로 나타난 다항 로지스틱 회귀모형의 결과이다. 종속변수의 기준범주는 기존 통행유지라는 대안으로 설정하여 이 대안을 기준으로 출발시간 변경, 경로 변경, 대중교통으로의 수단 전환 가능성을 살펴보고 그에 대한 개별 변수들의 효과를 검증하였다.

**Table 4.** Result of multinomial logistic model development

	Departure time change $\ln(P_D/P_T)$				Route change $\ln(P_R/P_T)$				Mode change to public transit $\ln(P_M/P_T)$			
	B	S.E.	Sig.	Exp (B)	B	S.E.	Sig.	Exp (B)	B	S.E.	Sig.	Exp (B)
Intercept	-2.765	1.471	0.060*	-	-1.733	1.169	0.138	-	2.146	1.167	0.066**	-
Age $\geq$ 60s	0.139	0.417	0.738	1.149	-0.753	0.455	0.098*	0.471	-0.547	0.498	0.272	0.578
Monthly income	-0.001	0.001	0.179	0.999	-0.002	0.001	0.040**	0.998	-0.002	0.001	0.010***	0.998
Commuting and school frequency	-1.416	0.379	0.000***	0.243	-1.034	0.356	0.004**	0.356	0.102	0.477	0.831	1.107
Driving frequency	-0.087	0.080	0.277	0.917	-0.004	0.071	0.956	0.996	-0.384	0.107	0.000***	0.681
Departure time	0.922	0.387	0.017**	2.515	0.285	0.339	0.401	1.330	0.48	0.411	0.243	1.616
Vehicle ownership (private)	2.603	1.117	0.020**	13.509	1.014	0.707	0.152	2.757	1.989	0.910	0.029**	7.312
Vehicle type (sedan, SUV)	0.193	0.844	0.819	1.213	0.518	0.796	0.515	1.678	-1.390	0.734	0.058*	0.249
Fuel involved with VMT tax	0.273	0.637	0.668	1.314	0.957	0.688	0.164	2.603	-1.085	0.508	0.033**	0.338
VMT tax	0.013	0.008	0.078*	1.013	0.011	0.007	0.125	1.011	-0.004	0.010	0.679	0.996
Chi-square=77.413, df=27, p-value<0.000												

Note 1) \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

Note 2)  $P_T$  : Trip adherence,  $P_D$  : Departure time change,  $P_R$  : Route change,  $P_M$  : Mode change to public transit

#### 1) 출발시간 변경에 대한 영향 요인

출발시간 변경에 영향을 미치는 변수는 통행목적, 첨두시간 주행여부, 자차여부, 그리고 주행거리세 지불의사액으로 도출되었다. 변수단위로 구체적으로 살펴보면, 통근통학 목적은 부(-)의 영향을 미치며, 비통근통학에 비해 출발시간을 변경할 승산이 0.243배 감소하는 것으로 나타났다. 이는 통근통학 통행자의 출근시간이 유동적이지 못하다는 점에 기인하여 나타나는 행태로 볼 수 있다.

첨두시간 주행여부는 정(+)의 영향을 미치며, 첨두시간에 주행하는 운전자인 경우 출발시간 변경에 대한 승산비가 2.515배 높은 것으로 나타났다. 첨두시간에 차등요금을 부과하는 주행거리세 운영방식에 의한 결과로 운전자들은 시간보다는 요금에 더 민감하다는 것을 알 수 있다.

자차여부는 정(+)의 영향을 미치며, 자가용 차량인 경우 영업용 차량에 비해 출발시간을 변경할 승산이 13.509배 높은 것으로 나타났다. 자가용 차량 운전자는 영업용 차량 운전자에 비해 상대적으로 통행시간의 선택이 자유롭기 때문으로 해석된다.

주행거리세 지불의사액은 정(+)의 영향을 미치며, 1원 증가할 때마다 출발시간 변경에 대한 승산비가 1.013배 증가하여 지불의사액이 높을수록 출발시간을 변경할 가능성이 큰 것으로 나타났다. 지불의사액이 높은 운전자일수록 통행에 두는 가치가 크기 때문에 통행의 질을 더 중요시하여 교통상황이 원활한 시간대를 선택하는 것을 알 수 있다.

## 2) 통행경로 변경에 대한 영향 요인

통행경로 변경에 유의미하게 영향을 미치는 변수는 연령, 소득, 통행목적인 것으로 나타났다. 연령은 부(-)의 영향을 미치며, 60세 이상 운전자들은 60세 미만 운전자에 비해 통행경로 변경에 대한 승산이 0.471배 감소하는 것으로 나타났다. 고령자일수록 새로운 경로에 대한 거부감을 느끼고 요금을 더 지불하더라도 기존의 경로를 유지하려는 경향이 있음을 알 수 있다.

소득은 부(-)의 영향을 미치며, 소득이 높을수록 통행경로를 변경할 승산이 0.998배 감소하는 것으로 나타났다. 이를 통해 소득이 높은 운전자일수록 혼잡도로 주행에 대한 주행세를 더 지불하더라도 익숙한 경로를 유지하는 경향이 있음을 알 수 있다.

통행목적은 부(-)의 영향을 미치며, 통근통학 목적일 경우 비통근통학 목적에 비해 통행경로를 변경할 승산이 0.356배 감소하는 것으로 나타났다. 통근통학 목적의 경우 출발지와 도착지가 고정되어 있어 경로가 한정적이기 때문에 통행을 유지하려는 성격이 더 강한 것으로 나타났다.

## 3) 대중교통으로 수단 전환에 대한 영향 요인

대중교통으로 수단 전환에 유의미하게 영향을 미치는 변수는 소득, 운행횟수, 자차여부, 차량종류, 차량연료인 것으로 나타났다. 소득은 부(-)의 영향을 미치며, 소득이 1원 증가할수록 수단 전환에 대한 승산이 0.998배 감소한다. 소득이 높은 운전자들은 대중교통으로 수단을 전환할 가능성이 작으며, 이는 소득수준이 높은 운전자가 비용보다 불편함에 더 민감하다는 것을 알 수 있다.

차량 운행횟수는 부(-)의 영향을 미치며, 차량 운행횟수가 1회 증가할수록 수단 전환에 대한 승산이 0.681배 감소한다. 자가용 의존도가 높은 운전자일수록 대중교통으로 수단을 전환할 가능성이 작은 것을 알 수 있다.

자차여부는 정(+)의 영향을 미치며, 영업용 차량 운전자보다 자가용 차량 운전자인 경우 수단 전환에 대한 승산비가 7.312배 증가하는 것으로 나타났다. 수단을 전환할 수 없는 영업용 차량 운전자에 비해 자가용 차량 운전자의 수단 전환 확률이 높아지는 것은 당연한 결과라고 할 수 있다.

차량종류는 부(-)의 영향을 미치며, 승용차나 SUV 운전자인 경우 화물차나 승합차 운전자에 비해 수단 전환에 대한 승산이 0.249배 감소하는 것으로 나타났다. 일부 연구에 따르면 소득이 높을수록 세단이나 SUV 등 상대적으로 고가의 차량을 선호하고(Choo and Mokhtarian, 2004; Bhat and Sen, 2006; Spissu et al., 2009; Eluru et al., 2010), 어린이가 있는 가구는 SUV를 선호하는 경향이 있는 것으로 나타났다(Bhat and Sen, 2006). 이러한 측면에서 승용차나 SUV 차량 운전자가 승합차나 화물차 운전자에 비해 비용에 덜 민감하며 가족을 동반하는 경우 대중교통으로 수단을 전환하기 어려울 것으로 판단된다.

차량연료는 부(-)의 영향을 미치며, 유류세를 납부하는 차량인 경우 수단 전환에 대한 승산이 0.338배 감소하는 것으로 나타났다. 현재 유류세를 납부하는 차량(휘발유, 경유)은 주행거리세가 시행되더라도 지금과 유사한 수준의 요금을 지불할 것으로 예상되어 대중교통으로의 수단 전환율이 낮은 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구는 친환경·고효율 차량의 보급이 증가함에 따라 발생 가능한 교통부문 세수 부족과 교통시설의 불공평한 이용이라는 두 가지 문제를 지적하고, 이대 대한 대책으로 교통선진국을 중심으로 시도되고 있는 주행거리세의 도입을 제안하였다.

본 연구에서 제시한 주행거리세의 운영방식은 기본적으로 개별 차량이 주행한 거리에 대한 km당 요금을 부과하며, 혼잡시간대에 주행하거나 혼잡도로를 주행할 경우에 대해 가중 요금을 부과하는 방식이다. 이에 따라 운전자가 선택 가능한 통행행태 대안을 통행유지, 출발시간 변경, 통행경로 변경, 대중교통으로 수단 전환으로 정의하고, 향후 주행거리세가 도입될 경우 운전자의 통행행태 선호도를 조사하기 위한 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 1인당 교통혼잡비용이 가장 높은 부산광역시의 운전자 417명(유효 설문지 368부)을 대상으로 실시하였으며, 설문조사 자료에 근거하여 다항 로지스틱 회귀모형을 추정한 후 그 영향 인자를 도출하였다.

분석 결과, 통근통학 운전자가 타 통행목적에 비해 출발시간과 통행경로를 변경하지 않으려는 경향을 보였으며, 고소득자일수록 통행경로 변경과 대중교통으로의 수단 전환을 선호하지 않는 것으로 나타났다. 또한, 자가용 운전자일수록 대중교통으로 수단을 전환할 가능성이 크게 나타났다.

## 정책적 제언 및 향후연구

본 연구의 분석결과를 토대로 향후 주행거리세를 통한 세수 확보와 교통정체 및 대기오염 감소 등 교통시스템 개선을 위해 정책적으로 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

첫째로, 주행거리세를 적용함에 있어 사회적 형평성의 기준이 모색되어야 한다. 분석결과에 의하면 소득이 높은 운전자일수록 주행거리세 도입에 덜 민감하게 반응하며, 소득이 낮은 운전자일수록 경로를 변경하거나 대중교통으로 수단을 전환하려는 의지가 강한 것으로 나타났다. 다시 말해, 불편을 감수하더라도 통행행태를 변경하고자 하는 주체는 주로 저소득층이며, 이는 주행거리세 정책이 사회적 형평성을 담보하지 못 할 수도 있다는 점을 시사한다. 따라서 다양한 소득계층 간 사회적 형평성을 고려하여 적정 요금 수준을 결정하고 저소득층에 대한 복지할인제도 등을 제공할 필요가 있다.

다음으로, 주행거리세와 함께 근로 정책, 대중교통 정책 등 다양한 정책의 수립이 병행되어야 한다. 교통혼잡의 주원인인 통근통학 목적의 통행들은 기존의 통행행태를 유지하려는 경향이 강한 것으로 나타났는데, 이는 주행거리세가 혼잡관리 차원에서 큰 효과를 기대할 수 없다는 점을 시사한다. 이러한 결과는 통근통학 운전자들의 출퇴근 시간이 유동적이지 않아서 나타나는 현상으로 자율출퇴근제와 같은 근로 제도의 개선이 병행되었을 때 혼잡완화 효과가 커질 것으로 기대된다. 또한, 자가용 의존도가 높은 운전자일수록 대중교통으로 수단을 전환할 가능성이 낮게 나타났는데, 이는 대중교통이 자가용을 대체할만한 수준의 편의성을 보장하지 못하기 때문으로 판단된다. 따라서 대중교통 체계의 개선이 선결되어야만 주행거리세 시행에 따른 혼잡관리 효과의 극대화를 도모할 수 있다.

마지막으로, 본 연구에서 도출된 결과가 연구대상지인 부산광역시에 한정될 수 있다는 점과 설문조사를 통해 운전자들의 통행행태 변화에 대한 분석만을 수행하였다는 점은 연구의 한계라고 할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 본 연구에서 도출된 확률모형을 교통시뮬레이션 모델에 접목하고, 이를 통해 주행거리세의 도입에 따른 연구대상지에서의 교통영향을 계량적으로 평가하고자 한다.


## Funding


This work was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea Government (MSIP) (NRF-2017R1C1B2010451).

## 알림

본 논문은 대한교통학회 제82회 학술발표회(2020.06.26)에서 우수논문상을 수상한 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

## ORCID

KIM, Minjeong  <http://orcid.org/0000-0001-5173-8185>

KIM, Hoe Kyoung  <http://orcid.org/0000-0001-5057-2558>

## References

- Anthony M. R., Thomas J. K. (2008), Responses to Oregon's Experiment in Road Pricing, *Transportation Research Record*, 2079(1), 1-7.
- Bhat C. R., Sen S. (2006), Household Vehicle Type Holdings and Usage: An Application of the Multiple Discrete-continuous Extreme Value (MDCEV) Model, *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(1), 35-53.
- Cho E. R., Jeong J. E., Jwa S. H. (2006), Funding for the Transportation Infrastructures, Research Report, Gyeonggi Research Institute (GRI), 3-12.
- Cho H. S., Lee H., Kim Y. C. (2014), 2011, 2012 Traffic Congestion Costs: Estimation and Trend Analysis, Research report, The Korea Transport Institute (KOTI), 1-121.
- Choi J. S. (2017), Cases and Policy Implications of Overseas VMT Tax to Secure Traffic Investment Resources (교통투자재원의 안정적 확보를 위한 해외 주행세 도입 사례와 정책적 시사점), *KRIHS Policy Brief*, 644, 1-8.
- Choi J. S. (2019), Study on Impact Analysis between Rise of Green Vehicle and Transportation Funding, *Journal of Environmental Policy and Administration*, 27(4), 75-102.
- Choo S., Mokhtarian P. L. (2004), What Type of Vehicle Do People Drive? The Role of Attitude and Lifestyle in Influencing Vehicle Type Choice, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(3), 201-222.
- Davis L. W., Sallee J. M. (2020), Should Electric Vehicle Drivers Pay a Mileage Tax?, *Environmental and Energy Policy and the Economy*, 1(1), 65-94.
- Eluru N., Bhat C. R., Pendyala R. M., Konduri K. C. (2010), A Joint Flexible Econometric Model System of Household Residential Location and Vehicle Fleet Composition/usage Choices, *Transportation*, 37(4), 603-626.
- Guo Z., Weinstein Agrawal A., Dill J., Quirk M., Reese M. (2011), The Intersection of Urban Form and Mileage Fees: Findings from the Oregon Road User Fee Pilot Program (No. MTI Report 10-04), *Mineta Transportation Institute*.
- Hoen A., Koetse M. J. (2014), A Choice Experiment on Alternative Fuel Vehicle Preferences of Private Car Owners in the Netherlands, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 199-215.
- Hong S. (2011), Binary and Multinomial Logistic Regression Analysis, *Kyoyookbook*, 41-46.
- Kim J. Y., Park I. G., Kang J. H. (2014), Reforming Tax System for Sustainable Transport Infrastructure Funding, Research Report, The Korea Transport Institute (KOTI), 1-186.
- Korea Institute of Public Finance(KIPF)(2010), Tax Trends of Major Countries in 2009, Research Report.
- KOSIS (2020), Average Mileage of Automobile, <http://kosis.kr>
- Lee H. Y. (2017), Research Methodology of Professor's Lee, *Chunglam(Korea)*, 715-732.
- Lee J. M. (2008), Study on Ways to Secure Transportation Investment Resources (교통투자재원확보 방안 연구, 한국교통연구원 연구보고서), Research Report, The Korea Transport Institute (KOTI), 64.
- MOLIT (2020), Total Registered Moter Vehicles, <http://stat.molit.go.kr>

- National Tax Statistics (2020), Tax Revenue by Year and by Type of Tax, <https://stats.nts.go.kr>
- Oregon Department of Transportation (2013), Oregon Road Usage Charge Pilot Program Final Report.
- Rufolo A. M., Kimpel T. J. (2008), Responses to Oregon's Experiment in Road Pricing, *Transportation Research Record*, 2079(1), 1-7.
- Spissu E., Pinjari A. R., Pendyala R. M., Bhat C. R. (2009), A Copula-based Joint Multinomial Discrete-continuous Model of Vehicle Type Choice and Miles of Travel, *Transportation*, 36(4), 403-422.
- Tillema T., van Wee B., Ettema D. (2010), Road Pricing and Relocation Decisions of Dutch Households, *Urban studies*, 47(14), 3013-3033.
- Ubbels B., Verhoef E. (2006), Behavioral Responses to Road Pricing: Empirical Results from a Survey of Dutch Car Owners, *Transportation research record*, 1960(1), 159-166.
- Zhang L., Lu Y. (2012), Marginal-cost vehicle mileage fee, *Transportation Research Record*, 2297(1), 1-10.