ARTICLE

개인의 환경적 성향이 친환경 경로 이용 의향에 미치는 영향 분석

신송현[1] · 이윤희[2] · 이경재[3] · 추상호[4*]
[1]홍익대학교 도시계획과 석사과정, [2]서울특별시 교통운영과 주무관, [3]홍익대학교 도시계획과 박사과정, [4]홍익대학교 도시공학과 교수

Analyzing Influence of Individual Attitudes Toward Environment on Intention to Use Eco-Friendly Routes

SHIN, Songhyeon[1] · LEE, Yoonhee[2] · LEE, Gyeongjae[3] · CHOO, Sangho[4*]

[1]M.S. Student, Department of Urban Planning, Hongik University, Seoul 04066, Korea
[2]Assistant Director, Transportation Operation Division, Seoul Metropolitan Government, Seoul 04515, Korea
[3]Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning, Hongik University, Seoul 04066, Korea
[4]Professor, Department of Urban Design and Planning, Hongik University, Seoul 04066, Korea

*Corresponding author: shchoo@hongik.ac.kr

J. Korean Soc. Transp.
Vol.42, No.1, pp.107-124, February 2024
https://doi.org/10.7470/jkst.2024.42.1.107

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY
Received: 11 December 2023
Revised: 18 January 2024
Accepted: 30 January 2024

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

As problems caused by climate change become more serious, various policies and strategies have been established around the world to respond. The electric vehicle subsidy policy, which is a major carbon reduction policy in the transportation, appears to have minimal effect, meaning that carbon is not being reduced effectively. Accordingly, there is a need for not only a long-term transition to future mobility, but also a plan to reduce carbon emissions by efficiently using currently used fossil fuels. A representative method for this is eco-friendly routes. In this study, in order to successfully introduce eco-friendly routes that are not currently in service in Korea, the factors influencing the intention to use eco-friendly routes were analyzed. Data were collected using SP surveys, and the eco-friendly route attributes and individual socioeconomic, travel, and attitudes characteristics that influence the use of eco-friendly routes were analyzed by applying a binary logistic regression model. As a main result of the analysis, the increase in travel time of the eco-friendly route compared to the shortest route had a negative effect on the intention to use the eco-friendly route, and the amount of carbon reduction had a positive effect. In addition, in short-distance commuting situations, middle-aged people in their 40s older showed a high willingness to use eco-friendly routes and the higher the attitude for “carbon reduction knowledge” and “carbon reduction practice”, the higher the willingness to use. The results of this study are expected to be used as basic data for establishing an effective eco-friendly route service introduction strategy and transportation planning for Net-zero.

Keywords: binary logistic regression model, eco-friendly route, factor analysis, net-zero, sp survey

초록

기후변화로 인한 문제가 심각해짐에 따라, 전 세계적으로 이에 대응하기 위한 다양한 정책과 전략을 수립하였다. 수송부문의 주요 탄소저감 정책인 전기차 보조금 정책은 그 효과가 미미한

것으로 나타나 효과적으로 탄소가 감축되고 있지 않는 실정이다. 이에 따라 장기적인 측면의 미래모빌리티로의 전환뿐만 아니라, 현재 사용되고 있는 화석연료를 효율적으로 사용하여 탄소 배출량을 저감하는 방안이 필요한 현황이다. 이에 대표적인 방법이 친환경 경로(Eco-friendly routes)이다. 본 연구에서는 현재 국내에 서비스되고 있지 않은 친환경 경로의 성공적인 국내 도입을 위해, 친환경 경로 이용 의향에 미치는 영향요인을 분석하였다. SP 조사를 활용하여 설문자료를 수집하였으며, 친환경 경로 이용에 미치는 친환경 경로 속성, 개인의 사회경제적, 통행, 성향 특성을 이항 로지스틱 회귀모형을 적용하여 분석하였다. 주요 분석결과, 기존 경로 대비 친환경 경로의 통행시간 증가량은 친환경 경로 이용 의향에 음의 영향으로, 탄소 저감량은 양의 영향으로 나타났다. 또한 통근 단거리 상황에서, 40대 이상의 중장년층들의 친환경 경로 이용 의향이 높게 나타났으며, “탄소저감지식”, “탄소저감실천” 성향이 높을수록 이용 의향이 높은 것으로 나타났다. 본 연구결과는 효과적인 친환경 경로 서비스 도입 전략 수립과 탄소중립을 위한 교통계획의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 이항 로지스틱회귀모형, 친환경 경로, 요인분석, 탄소중립, SP 조사

서론

2023년 7월 6일 지구 평균 기온은 17.23℃를 기록했다(Climate Reanalyzer, 2023). 이는 미국 국립환경예측센터(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)의 데이터로 이전 최고 기록인 2016년 8월 14일 16.92℃보다 크게 증가한 수치이며, 1979년 위성 관측을 통한 기온 기록 시작 이래 가장 최고치로 나타났다. 이러한 현상은 지구온난화가 야기하는 기후변화 문제의 심각성을 보여주고 있다. 기후변화로 인한 문제가 발생함에 따라, 세계적으로 이에 선제적으로 대응하기 위해 다양한 노력을 시도하고 있다.

국제사회에서는 1992년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)을 채택한 이후, 1997년 교토의정서 채택, 2015년 파리협정을 채택하였다. 이후 2018년 인천 송도에서 개최된 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 IPCC) 총회에서 IPCC의 「지구온난화 1.5℃ 특별보고서」가 채택되었다. 보고서에서는 2100년까지 지구 평균 온도의 상승폭을 1.5℃ 이내로 제한하는 목표를 설정하였다. 이를 위해서는 전지구적으로 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 2030년까지 최소 45% 이상 감축해야하며, 2050년에는 탄소중립(Net-zero)을 달성해야 한다는 경로를 제시하였다.

탄소중립이란, 인간에 의한 온실가스 배출을 저감하고, 산림과 탄소포집 기술을 통해 흡수 및 제거하여 온실가스의 실질적인 배출량을 0으로 만드는 것을 의미한다. 이에 따라 세계 각국에서는 탄소중립 선언을 하였으며, 다양한 정책을 수립 및 시행하였다.

미국에서는 조 바이든(Joe Biden) 대통령 취임 이후, 온실가스를 2030년까지 2005년 대비 50-52% 감축을 목표로 설정하였다. 일본은 스가 요시히데(Suga Yoshihide) 총리 취임 이후, 온실가스를 2030년까지 2013년 대비 46% 감축하는 것을 목표로 설정하였다. EU(European Union)에서는 유럽 그린딜(The European Green Deal) 발표를 통해, 2030년까지 1990년 대비 55% 감축을 목표로 설정하였다. 독일은 2019년 12월 2050 탄소중립을 선언하였지만, 2021년 5월 목표 달성 시기를 앞당겨 2045년으로 발표하였으며, 2030년까지 1990년 대비 65% 감축 목표를 설정하였다. 프랑스도 독일과 유사하게 2019년 12월 2050 탄소중립을 선언하였으며, 2030년까지 1990년 대비 40% 감축하는 것을 목표로 설정하였다. 세부적으로 수송부문에서는 2030년까지 2015년 대비 28% 감축 목표를 설정하였다. 영국에서는 기후변화법(Climate Change Act) 개정을 통해 2050 탄소중립을 선언하였으며, 에너지백서 2020(Energy White Paper 2020) 발표를 통해 수송 부문에서의 주요 전략으로 에너지 전환을 제시하였다(Lee et al., 2021; Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea, 2023).

대한민국정부에서는 이러한 국제사회의 탄소 저감을 위한 정책 방향에 맞추어, 「2050 탄소중립 추진전략」, 「지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국2050 탄소중립 전략」, 「2030 국가 온실가스 감축목표(National Determined Contributions, NDC)」를 수립하였다. 수송부문에서의 온실가스 감축 목표는 2030년까지 2018년 대비 37.8% 감

축한 61.0백만톤CO_2eq 달성을 목표로 설정하였다. 연도별 수송부문의 온실가스 배출량 추이를 검토한 결과 Figure 1과 같이 나타났다. 2019년에는 2.9% 상승하였으며, 2020년에는 코로나 19의 영향으로 통행량 감소에 따라 4.8% 감소한 것으로 나타났다. 이후 온실가스 잠정배출량은 2021년 2.6% 증가할 것으로 나타났으며, 2022년에는 0.8% 감소한 것으로 추정되었다. 2021년 대비 2022년 온실가스 잠정배출량의 소폭 감소는 지속적인 유가상승으로 인한 자동차 주행거리의 감소로 연료 소비량이 감소한 것으로 판단된다. 국내 휘발유 판매가 추이를 검토한 결과 Figure 1과 같이 나타났다. 2021년 1,591원/L에서 2022년 1,813원/L로 크게 상승하였으며, 이에 따라 자동차 주행거리는 2021년 356,372백만km에서 2022년 335,630백만/km로 크게 감소한 것으로 나타났다(Ministry of Environment, 2023). 이러한 추이를 보아, 현재 실질적인 탄소 저감이 이루어지고 있지 않는 것으로 판단된다.

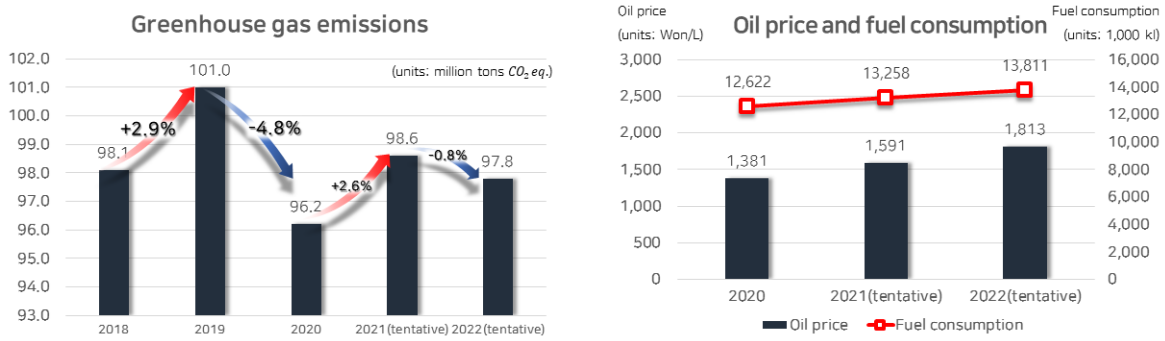

Figure 1. Trends in greenhouse gas emissions in the transportation sector by year & Oil price and fuel consumption trends (gasoline)

data : "Temporary Greenhouse Gas Emissions Expected to Be 645.5 Million Tons in 2022, down 3.5% from the previous year", Ministry of Environment, 2023.07.25.

수송부문에서의 탄소 중립을 위한 주요 수단으로는 친환경차와 관련 인프라의 보급 확대 및 구축을 통해 미래모빌리티로 전환하고자 하는 것이 있다. 또한, 지능형 교통시스템(Cooperative-Intelligent Transport Systems, C-ITS) 및 자율주행 등과 같은 차세대 기술을 활용하여 에너지 효율을 향상하고, 화물운송체계에서 친환경 에너지 활용성을 증진하고자 하고 있다. 수요 측면에서는 대중교통과 개인형 이동수단 이용 활성화, 공유차량 이용 등을 통해 승용차 통행량을 감축시키고자 하였으며, 다양한 측면에서 온실가스 배출량 감축 목표 달성을 위해 노력하고 있다.

대표적인 수송부문의 온실가스 배출량 감축 정책은 "전기차 보조금 정책"으로, 전기차를 구매하는 경우 보조금을 지원하여 전기차를 대중화하여 화석연료의 사용을 저감하는 정책이다. 이러한 정책의 효과를 살펴보기 위해 연도별 자동차 등록대수 추이를 검토한 결과 Figure 2와 Table 1과 같이 나타났다. 2014년 전기차 등록대수는 2,775대로 전체 자동차 등록대수의 0.01%를 차지하는 것으로 나타났다. 보조금 정책이 시행된 이후 지속적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 2022년 389,855대로 전체의 1.53%를 차지하는 것으로 나타났다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023). 정책의 효과로 전기차 등록대수가 급격하게 증가하였지만, 현재 교통시스템 내에서의 비중은 비교적 매우 적은 것으로 나타나 탄소중립 목표 달성을 위한 효과는 미흡한 것으로 판단된다. 따라서 전기차 보조금 정책과 같은 모빌리티 전환 정책은 장기적인 측면의 온실가스 감축 정책으로, 현재 사용되고 있는 화석연료를 효율적으로 이용하여 감축하는 단기적인 측면의 정책이 필요한 실정이다. 이에 대표적인 단기적인 측면의 온실가스 감축 방법이 친환경 경로(Eco-friendly Routes)이다.

친환경 경로란, 기존 최단 시간의 경로보다 도로 유형, 교통상황 등 다양한 요인들을 고려하여 연료를 효율적으로 사용함에 따라 탄소 배출을 최소화하는 경로이다. 2021년 구글(Google)이 미국에서 최초로 서비스를 출시하였으며, 40여 개국에 서비스를 제공한 결과 연간 약 120백만톤의 탄소를 감축한 효과를 얻은 것으로 나타났다(Google, 2023). 이는 승용차 25만대 감축 효과와 동일한 결과로 단기적인 측면에서 탄소 저감을 실현시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 국내에서는 티맵모빌리티가 첨단운전자보조시스템(Advanced Driver Assistance System, ADAS) 기반으로 구축한 지도를 활용하여 에코경로 서비스를 출시 준비 중인 것으로 나타났다.

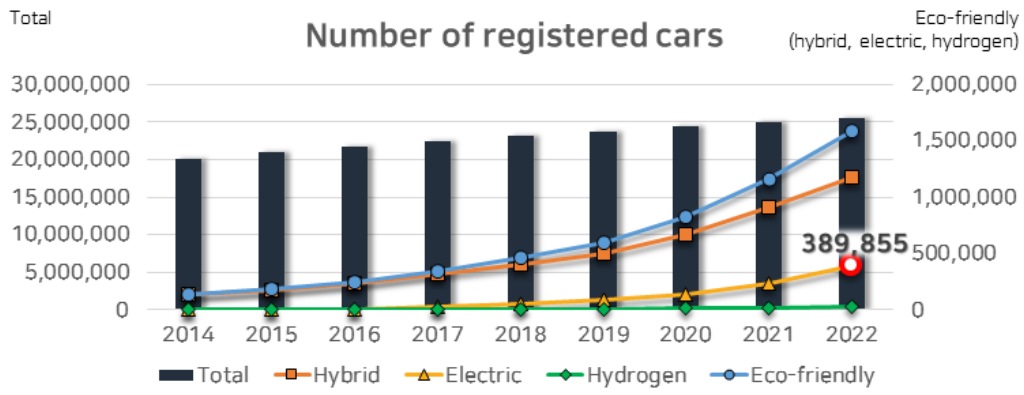

Figure 2. Trends in number of registered cars by year

data : "As of the end of 2021, 24.91 million cars registered… 100,000 new electric vehicles registered", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022.01.28.
"The cumulative number of cars registered has exceeded 25.5 million and 1.5 million eco-friendly cars", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023.01.26.

Table 1. Trends in number of registered cars by year

Type		Hybrid (A)	Electric (B)	Hydrogen (C)	Eco-friendly (A+B+C)	Total
2014	Number	137,522	2,775	0	140,297	20,117,955
	%	0.68	0.01	0.00	0.70	100.00
2015	Number	174,620	5,712	29	180,361	20,989,885
	%	0.83	0.03	0.00	0.86	100.00
2016	Number	233,216	10,855	87	244,158	21,803,351
	%	1.07	0.05	0.00	1.12	100.00
2017	Number	313,856	25,108	170	339,134	22,528,295
	%	1.39	0.11	0.00	1.51	100.00
2018	Number	405,084	55,756	893	461,733	23,202,555
	%	1.75	0.24	0.00	1.99	100.00
2019	Number	506,047	89,918	5,083	601,048	23,677,366
	%	2.14	0.38	0.02	2.54	100.00
2020	Number	674,461	134,962	10,906	820,329	24,365,979
	%	2.77	0.55	0.04	3.37	100.00
2021	Number	908,240	231,443	19,404	1,159,087	24,911,101
	%	3.65	0.93	0.08	4.65	100.00
2022	Number	1,170,507	289,855	29,623	1,589,985	25,503,078
	%	4.59	1.53	0.12	6.23	100.00

data : "As of the end of 2021, 24.91 million cars registered… 100,000 new electric vehicles registered", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022.01.28.
"The cumulative number of cars registered has exceeded 25.5 million and 1.5 million eco-friendly cars", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023.01.26.

이러한 현황을 고려하였을 때, 친환경 경로는 현재 우리가 직면한 기후변화 문제에 선제적으로 대응하여 탄소를 저감할 수 있는 현실적이고 효과적인 방안으로 판단된다. 따라서 친환경 경로의 적극적인 국내 서비스 도입이 필요할 것으로 판단되며, 통행자들의 친환경 경로 이용을 촉진하고 활성화할 수 있는 방안이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 친환경 경로 서비스의 국내 도입에 앞서 친환경 경로 이용 의향에 미치는 영향요인을 규명하고자 하였다. 이를 위해 연구 질문을 다음과 같이 설정하였다.

첫째, 기존 최단 경로와 친환경 경로의 속성(통행시간, 탄소 배출 저감량)의 차이가 이용 의향에 영향을 미치는가?

둘째, 기존 통행 행태에 따라 친환경 경로 이용 의향에 차이가 존재하는가?
셋째, 개인적 특성(연령, 성별, 개인 성향 등)에 따라 친환경 경로 이용 의향에 차이가 존재하는가?

선행연구 검토

분석을 수행하기에 앞서, 친환경 경로와 관련한 문헌들을 검토하였다. 추가적으로 본 연구에서 활용한 설문조사 자료가 SP(Stated Preference)조사 자료임을 고려하여, SP조사를 활용한 경로 선택 관련 문헌을 검토하였다.

1. 친환경 경로 관련 문헌

Ericsson et al.(2006)은 운전이 환경에 미치는 영향을 감소시키고자 하는 기존 연구들이 미흡한 점을 고려하여, 최저 연료 소비 경로 안내 시스템이 연료 소비를 감소시키는 효과를 분석하였다. 스웨덴의 Lund시 내의 실제 운전 데이터 15,437개를 수집하여 분석에 활용하였다. ArcGIS의 Network Analysis를 활용하여 최단 시간, 거리 경로와 최저 연료 소비 경로를 산출하여 분석하였다. 주요 분석결과, 통행의 46%가 최저 연료 소비 경로를 이용하지 않는 것을 확인하였으며, 최저 연료 소비 경로 안내 시스템을 사용하는 경우 평균적으로 8.2%의 연료 소비를 감소시킬 수 있다는 결과를 제시하였다.

Yao and Song(2013)은 저탄소 운송 시스템의 도입을 위해 차량 배기가스와 연료 소비를 최소화하는 Eco-route (Ecological route) 알고리즘을 개발하였다. 차량 배출 모델 및 연료 소비 모델을 구축하였으며, Dijkstra 알고리즘 기반의 Eco-route 알고리즘을 제안하였다. 개발한 알고리즘을 기반으로 베이징시 일대를 대상으로 사례 연구를 수행한 결과, Eco-route의 연료 소모량이 최단시간 경로보다 약 6% 낮은 것으로 나타났지만, 통행시간은 약 4% 더 소요되는 결과를 도출하였다. 이를 통해 Eco-route는 탄소 배출량을 감소시킬 수 있는 것을 확인하였다.

Andersen et al.(2013)은 운전자들이 가장 친환경적인 경로를 이용할 수 있도록 차량 배기가스 배출량을 감소시킬 수 있는 EcoTour 시스템을 개발하였다. 덴마크의 CAN 버스와 차량 통행의 GPS 데이터를 활용하였으며, 시간에 따라 변화하는 에코 가중치를 개발하여 시스템에 적용하였다. 시스템의 구성은 덴마크 내에서 출발지와 목적지를 선택하는 경우, Dijkstra 알고리즘 기반의 최단 시간 경로, 최단 거리 경로, Eco-route를 사용자에게 제공하는 형식이다. 분석결과 Eco-route가 최단 경로와 전혀 다른 경로가 아닌, 일부 구간을 공유하는 것을 도출하였다. 또한, Eco-route는 가장 빠르거나 짧은 경로가 아닌 것을 도출하였다.

Barth et al.(2007)은 경로 안내 시스템과 차량 에너지 소비량, 배기가스 배출량 추정 모델의 통합을 통해, 연료 소비와 오염물질 배출을 최소화하는 경로 정보를 제공하였다. 분석에 앞서, 최단 시간, 최단 거리 경로가 가장 친환경적인 경로일 수도 있는 반면, 도로 정체 및 기타 요인이 있는 경우 차이가 발생할 수 있다는 가설을 설정하였다. Los Angeles California 지역을 대상으로 4가지 사례 연구를 수행하였으며, 링크의 특성에 따른 에너지 소비량과 배기가스 배출량의 계수를 산출하였다. 대부분의 경우 최단 시간 경로가 친환경 경로인 것으로 나타났지만, 혼잡이 심하게 발생하는 경우 연료 소비량이 증가하여 두 경로간 차이가 발생하는 것을 확인하였다.

Minett et al.(2011)은 최소 연료 소비 경로 탐색을 위해 디지털 지도의 속성과 특성을 파악하였다. Delft 지역을 대상으로 3가지 경로를 설정하여 각 15회씩 현장 GPS 주행 데이터를 수집하였으며, 링크별로 비용을 산출하고 A* 알고리즘을 적용하여 경로를 탐색하였다. 분석결과를 통해 교차로, 표지판, 경사 등과 관련한 링크 속성이 경로 탐색에 영향을 미칠 것으로 제시하였다.

Kubička et al.(2016)은 Andersen et al.(2013), Barth et al.(2007), Juřík et al.(2014)의 모형을 룩셈부르크를 대상으로 교통 시뮬레이션 SUMO에 적용하여 비교분석하였다. 분석결과, Eco-routing은 평균적으로 가장 빠른 경로보다 연료 소비량이 적을 수 있지만, 종종 Eco-route가 에너지 절약에 실패하는 경우를 관측하였다. 특히, 통행시간이 긴 경우 발생하며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 제안하였다.

Ahn and Rakha(2008)는 경로 선택이 차량 연료 소비량과 배기가스 배출량에 미치는 영향을 분석하기 위해, 오전 첨두시에 발생한 통근 통행 GPS 데이터를 활용하여 워싱턴 DC 버지니아를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 추가적으로, 사용자 균형 및 시스템 최적 통행 배정 기법의 효율성을 환경 개선과 에너지 절약 측면에서 평가하였다. 주요 분석결과로 탄소 배출량을 최소화하는 통행 배정 기법이 사용자 균형 및 시스템 최적 통행 배정 기법보다 최대 92%의 탄소 배출을 감소시킬 수 있는 것을 도출하였다. 이를 기반으로, 운전자들을 대상으로 한 탄소저감 교육을 통해, 대기 질 및 에너지 소비의 개선을 실현시킬 수 있을 것이라 제안하였다.

Boriboonsomsin et al.(2012)은 최소의 연료 소비량 및 최소 배기가스 배출량 경로인 Eco-routing 안내 시스템을 제안하였다. 개발한 시스템의 통행시간 및 연료 소비량의 신뢰성 검증을 위해, 2009년 the Bay area of California 지역을 대상으로 사례 연구를 수행하였다. 이를 통해 친환경 경로와 최단 시간, 최단 거리 경로 간의 차이를 입증하였다. 또한 시간대별 교통상황별 친환경 경로가 변화할 것이라고 판단하였다. 이러한 연구결과를 기반으로 운전자들은 교통 상황, 선호도 등에 따라 경로 선택이 가능할 것이라 판단하였으며, 이러한 정보 제공은 연료 소비 및 배기가스 배출량 감소에 기여할 수 있을 것이라 기대하였다.

친환경 경로 관련 문헌 검토 결과, 대부분의 연구들이 Eco-route가 최단 시간, 최단 거리 경로와 차이가 존재하는 것을 분석하였다. 또한 친환경 경로가 연료 소비량을 감소시켜 탄소 배출량을 저감시킬 수 있는 효과적인 방법인 것을 규명하였다. 친환경 경로의 탐색에는 교통 상황에 따른 혼잡도, 교차로, 경사도 등 다양한 교통환경 요인이 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2. SP 조사를 활용한 경로 선택 관련 문헌

현재 친환경 경로 정보는 국내에 서비스가 제공되지 않고 있으므로, 본 연구에서는 SP 조사기법을 활용한 설문조사자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 따라서 SP 조사를 활용한 경로 선택 관련 문헌을 검토하였다.

Nam et al.(1995)은 교통정보 제공 시, 운전자의 경로 선호 변경을 분석하였다. 전주·김제방면에서 목적지가 익산시 주변인 통근·통학 목적의 운전자를 대상으로 SP 조사를 수행하였다. 총 589부를 수집하여 분석에 활용하였다. 주요 분석결과로, 통근 목적인 경우에 교통정보 제공 시 34.9%가 경로를 전환하는 것으로 나타났다. 특히, 통행시간정보 제공이 민감도가 높게 나타나 통행시간 정보를 제공하는 것이 경로 전환에 더 효과적인 방법인 것을 확인하였다.

Park et al.(2010)은 거리에 따른 유류비를 반영하여 시간가치를 산정하였으며, SP 조사를 통해 경로 선택 과정에서 유류비 반영의 타당성을 검증하였다. 2009년 고속도로 휴게소에서 수행한 설문조사 자료 133부를 활용하였다. 설문조사의 선택대안 구성은 최단시간 경로와 최단거리 경로로 2가지 대안으로 구성되어 있으며, 시간과 요금, 유류비의 차이를 5가지 수준의 속성값으로 제시하였다. 로짓모형을 적용하여 분석한 결과, 통행시간과 통행요금, 유류비를 모두 포함하여 분석한 모형의 설명력이 가장 우수하게 나타났으며, 이를 통해 운전자의 경로선택 과정에서 유류비가 유의한 영향을 미치는 것을 확인하였다.

Kim et al.(2006)은 VMS(Variable Message Sign)에 표시되는 주기별 최적화된 메시지의 조합에 따른 운전자들의 반응행태모형을 분석하였다. 교통 전공자를 대상으로 SP 조사를 수행하여 102부의 응답자료를 수집하였으며, 분석에 활용하였다. SP 조사는 “경로를 변경하지 않음”과 “경로를 변경” 2가지로 구성되어 있으며, VMS 메시지 유형은 4가지 시나리오로 제시하였다. 이항 로지스틱회귀모형을 적용하여 분석한 결과, VMS 정보 표출주기가 짧을수록, 메시지의 내용이 적을수록 총 통행시간을 감소시키는 것으로 나타났다. 특히, 교통사고정보가 제공되는 경우 58.8%가 경로를 전환하는 것을 확인하였으며, 소통원활정보를 제공하는 경우 0%가 경로를 전환하는 것으로 나타났다.

Kim et al.(2004)은 운전자가 현재 지각하는 교통상황정보인 관측정보의 영향을 고려한 경로 선택 모형을 구축하였다. 수도권 지역 내 통근자 중 자가용 이용자들을 대상으로 SP 조사를 수행하였으며, 70부를 수집하여 활용하였

다. 이항 로짓모형을 적용하여 분석한 결과, 관측정보가 유의한 영향을 미치며 매체정보에 대한 경로전환 효과가 과대평가 될 수 있다고 판단하였다. 또한, VMS보다 라디오의 정보를 더 신뢰하는 것을 확인하였으며, 사고발생, 정체, 지체, 소통원활 순으로 경로 전환에 더 큰 영향을 미치는 것을 도출하였다.

Gan et al.(2010)은 통행 시간 변동성(Travel time variability, TTV)이 통행자의 경로 선택에 미치는 영향을 분석하였다. 2007년 4월 상하이 공항에서 "신뢰할 수 있지만 느린 경로"와 "신뢰할 수 없지만 빠른 경로"로 2가지 선택대안을 제시한 SP 조사를 수행하였다. 140명의 응답자료를 수집하여 이항 프로빗 모형을 적용하여 분석하였다. 분석결과 통행시간 TTV는 경로 선택에 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 운전 경험이 많은 운전자인 경우, 통행시간이 불확실한 경로를 선택할 가능성이 낮게 나타났으며, 중장년층의 운전자가 청년층의 운전자보다 통행시간이 불확실한 경로를 선택할 가능성이 낮게 나타났다.

Xu et al.(2010)은 통행정보와 출발 시간이 통행자의 경로 선택 행동에 미치는 영향을 분석하였다. 2009년 4월 18일부터 19일까지 중국 난징 3개 주유소에서 SP 조사를 수행하였으며, 최종적으로 247명의 응답자료를 수집하였다. 다항 로짓 모형 추정 결과, 젊은 운전자가 통행정보를 반영하여 경로를 반영할 가능성이 높게 나타났다. 또한 운전 경험이 많을수록 통행정보에 따라 경로를 전환할 가능성이 높게 나타났으며, 통행시간과 TTV는 경로 전환에 음의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 추가적으로, 도로 정체 정보가 통행자에게 덜 혼잡한 경로를 선택할 가능성이 높다는 것을 도출하였다.

Gan and Bai(2014)는 TTV가 통행자의 경로 선택에 미치는 영향을 GLMM(Generalized linear mixed model)을 활용하여 분석하였다. 2009년 7월 상하이 BaiLian 쇼핑몰 지하주차장에서 SP 조사를 수행하였으며, 총 189개의 응답자료를 수집하였다. 선택대안은 "신뢰할 수 있지만 느린 경로"와 "신뢰할 수 없지만 빠른 경로"이며, 5가지 시나리오를 제시하였다. 주요 분석결과, 여성인 경우와 운전 경험이 많을수록 TTV가 높은 경로를 선택할 가능성이 낮은 것으로 분석되었다. 하지만 일부 운전자들에게서 높은 TTV를 감수하고 짧은 경로를 선택하는 행태가 관측되었다.

Iraganaboina et al.(2021)은 경로 선택에 미치는 도로 유형, 통행시간, 지체, 교통 정보 가용성, 교통 정보 접근성 등을 정량적으로 추정하였다. Orlando의 운전자를 대상으로 SP 조사를 수행하여 929명의 응답자료를 수집하였으며, RUM(Random utility maximization) 기반의 다항 로짓 모형과 RRM(Random regret minimization) 기반의 다항 로짓 모형을 적용하여 비교 분석하였다. 분석결과, RRM 기반의 다항 로짓 모형이 RUM 모형 보다 우수한 성능을 가지는 것으로 나타났다. 또한 사전 교통정보는 경로 선택에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Qi et al.(2022)은 개인 속성, 통행특성, 교통 정보 제공 등이 운전자의 경로 선택 행동에 미치는 영향을 분석하였다. 중국 난징에서 2021년 4월부터 5월까지 RP(Revealed preference) 및 SP 조사를 수행하였다. 통행시간, 지연 가능성, 통행요금, 교통 정보 가용성, 표시 형식 등의 속성들에 대하여 수준을 나누어, 3가지 경로에 대해 6가지 시나리오로 제시하였다. 총 831개의 응답자료를 수집하였으며, RUM 다항 로짓 모형, RRM 다항 로짓 모형, LCL(Latent class logit) 모형을 적용하여 분석하였다. 분석결과를 통해, 경로 정보 제공 서비스는 운전자의 개인 특성을 파악하여 개별화된 정보를 제공해야할 필요가 있다고 주장하였다. 또한 통행시간과 지연 가능성이 경로 선택에 큰 영향을 미치는 것을 고려하여, 경로 정보의 신뢰도를 향상시킬 필요성이 있다고 제안하였다.

SP 조사를 활용한 경로 선택 관련 국내외 문헌 검토 결과, 대부분 새로운 정보 제공 서비스가 도입되는 경우의 경로 전환행태에 대한 분석, 연료비, TTV 등이 경로 선택에 미치는 영향을 분석한 연구로 나타났다.

3. 선행연구 검토 소결

선행연구 검토 결과, 친환경 경로는 최단 시간경로, 최단 거리경로와는 분명한 차이가 존재하며, 다양한 교통환경 요인들이 친환경 경로 탐색에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 또한 친환경 경로는 연료 소비량과 직접적인 관련이 있는 것으로 나타났으며, 친환경 경로를 이용하는 것은 탄소 배출량을 효과적으로 감소시킬 수 있는 방안임을 확인

하였다. 하지만 실질적으로 통행자에게 해당 경로의 탄소 배출량에 대한 정보를 제공하여 경로 선택 행태 변화에 대한 분석을 수행한 연구는 미흡한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 경로의 탄소 배출량 정보를 제공한 SP 조사자료를 활용하여, 친환경 경로 이용 의향에 미치는 영향요인을 분석하고자 하였다. 이를 통해, 본 연구결과는 효과적인 친환경 경로 서비스 도입 전략 수립 및 탄소중립 교통계획의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

분석자료

1. SP 조사 개요

SP 조사기법은 가상의 상황을 구축하고, 이를 개인에게 제시하여 내재되어 있는 개인 의식, 선호, 의향 등을 조사하는 방법이다. 본 연구에서 활용한 SP 조사자료는 수도권 내 거주하며, 수도권 내에서 통행하는 사람들을 대상으로 한 설문자료이다. 또한, 정기적인 통근자를 대상으로 하기 위해, 주 4회 이상 통근하는 20대부터 만 60세 미만인 사람들을 대상으로 하였다. 2023년 6월 14일부터 19일까지 설문을 수행하였으며, 총 134부의 응답자료를 수집하였다. 설문조사 항목 중, 친환경 경로 관련 SP 조사는 승용차 운전 경험자를 대상으로 조사되었다. 따라서, 최종적으로 총 134부 중 승용차 운전 경험이 없는 17명의 자료를 제외한 117명의 응답자료를 분석에 활용하였다.

2. 친환경 경로 SP 조사 설계

친환경 경로 SP 조사자료는 통근 상황을 가정하였으며, 단거리(8km), 장거리(25km)[1)]의 통행에서 “기존 경로”와 “친환경 경로” 대안 2가지를 제시하여, 이 중 선호하는 대안을 선택하도록 설계하였다. “기존 경로”는 일반적으로 경로 탐색 정보 서비스에서 제공하는 최단시간 경로이며, “친환경 경로”는 기존 경로보다 시간이 더 소요되지만, 탄소 배출량이 적은 경로로 정의하였다. 선행연구 검토 결과 통행비용은 탄소 배출량과 밀접한 관련이 있으므로, 통행비용과 탄소 배출량을 동시에 포함하여 설문하는 것은 분석상의 문제가 발생할 수 있으며, 분석결과 해석에 대한 어려움이 있을 것으로 판단하였다. 따라서 “기존 경로”와 “친환경 경로”의 속성변수는 통행비용을 제외한 통행시간과 탄소 배출량으로 설정하였다. 이때, 각 통행시간(거리)별 탄소 배출량은 서울연구원에서 제시한 승용차 1인당 온실가스 배출량 원단위를 활용하여 산출하였다(Ko, 2018). 경로의 속성 수준은 “기존 경로”를 고정 대안으로 설정하여, “친환경 경로”의 속성 수준을 기존 경로 속성 수준대비 6개의 수준으로 설정하였다. “친환경 경로”의 정의에 따라 통행시간은 +10%-60%로, 기존 경로보다 통행시간이 오래 걸리도록 수준을 설정하였다. 탄소 배출량은 -10%-60%로, 기존 경로보다 탄소 배출량이 적게 수준을 구분하였다. 최종적으로 설정된 경로의 속성변수 수준은 Table 2와 같으며, Figure 3과 같이 제시되었다.

Table 2. Variable level

Variable	Shortest route		Eco-friendly route	
	Short distance	Long distance	Short distance	Long distance
Travel time	20min	48min	22min, 24min, 26min, 28min, 30min, 32min	52min, 57min, 62min, 67min, 72min, 77min
Carbon emissions	1,184g	3,700g	474g, 592g, 710g, 829g, 947g, 1,066g	1,480g, 1,850g, 2,220g, 2,590g, 2,960g, 3,330g

1) 단거리와 장거리의 기준은 실제 승용차 이용자들의 통근 통행거리 데이터 수집에 한계가 존재하므로, 교통카드 데이터를 활용하여 지역내, 지역간 통행자료를 기반으로 통행시간 및 통행거리를 산출하여 설정하였다.

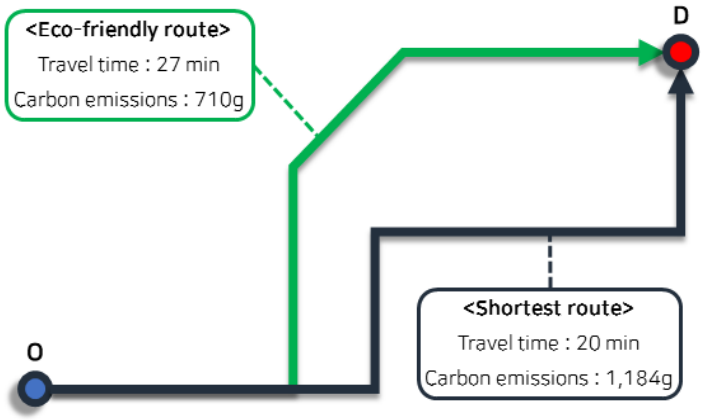

Figure 3. Selection alternative description

3. 사회경제적 및 개인 통행 특성

본 연구에서 활용한 설문조사자료는 친환경 경로 관련 SP 조사와 함께, 개인의 사회경제적 특성, 개인 통행, 개인 성향 등과 같은 내용을 포함하여 설문하였다. 이 중, 최종적으로 본 연구에서 활용한 변수들은 Table 3과 같다. 여기서 소득은 월평균 소득이다.

Table 3. Socioeconomic and personal travel characteristics

Variable	Description
Gender	0 = woman, 1 = male
Age	0 = under 40s, 1 = over 40s
Income	1 = less than 1 million won, 2 = 1 million won-2 million won 3 = 2 million won-3 million won 4 = 3 million won-4 million won 5 = 4 million won-5 million won 6 = 5 million won-6 million won 7 = 6 million won-7 million won 8 = 7 million won-8 million won 9 = 8 million won-9 million won 10 = 9 million won-10 million won 11 = more than 10 million won
Hybrid car owner	0 = non-owner, 1 = owner
Electric car owner	0 = non-owner, 1 = owner
Average number of car uses per weekdays	Number of uses
Average car use time per use	Minute

4. 개인 성향

추가적으로, 본 연구에서 활용한 설문조사자료에는 개인 성향에 대해 5단계(1=전혀 그렇지 않다-5=매우 그렇다)로 설계하여 조사를 수행하였다. 친환경 경로를 이용하는 것은 통행시간을 더 소요하는 개인의 노력이 필요하므로, 개인 성향이 유의한 영향을 미칠 것이라 판단하였다. 따라서 개인 성향에 따라 친환경 경로 이용 의향에 차이가 존재하는지 파악하기 위해 이를 분석에 활용하였다. 개인 성향 문항은 6가지 그룹으로 구분할 수 있으며, 각 문항은 Table 4와 같다.

Table 4. Individual attitudes

	Questions
Passion for search New route (PN)	
PN1	I want to try a new route that I haven't used in the past
PN2	If someone suggests a new route to me, I'll be happy to try it
PN3	I try to find better routes in my daily travels
PN4	I would be willing to change my route if there was a better route than the one I have now
PN5	When choosing a route to get to my destination, I compare various routes
Preference for Transfer between travel mode (PT)	
PT1	I am willing to use two or more means to get to my destination
PT2	When I transfer between mode, I don't really feel pressured
PT3	It is unnecessary to use multiple means of transportation in one trip
PT4	I plan my schedule to minimize transfer time
PT5	I prefer routes with few transfers, even if it involves a bit of a detour
Importance of Punctuality (IP)	
IP1	I really value keeping my appointments on time
IP2	I try to avoid transportation that may cause me to be behind schedule
IP3	I am willing to pay extra to meet the scheduled time
IP4	I leave early so that I can arrive on time as much as possible
IP5	I worry about being late if public transportation runs slower than usual
Low-carbon Knowledge (LK)	
LK1	I know which of my actions increase my carbon emissions
LK2	I know several ways to reduce carbon emissions and protect the environment
LK3	Promoting the use of eco-friendly energy can save resources and reduce carbon emissions
LK4	Saving energy and reducing carbon emissions are necessary ways to improve the environment
LK5	Exhaust gases from internal combustion engines (car, bus, etc.) are an important cause of environmental pollution
Low-carbon Habit (LH)	
LH1	I try to save energy and reduce carbon emissions in my daily life
LH2	I try to recycle renewable resources rather than use disposable products
LH3	I try to separate waste when I throw it away
LH4	I try to use public transportation as much as possible to reduce carbon emissions
LH5	I try to give priority to purchasing products from companies that try to protect the environment
Low-carbon Attitude (LA)	
LA1	Are willing to pay additional costs for transportation services that reduce carbon emissions
LA2	To reduce carbon emissions, I am willing to change my habits
LA3	In order to reduce carbon emissions, I don't want my daily life to become more inconvenient than it is now
LA4	I am willing to participate in carbon reduction activities
LA5	I prefer eco-friendly cars (electric car, hybrid car, etc.) over internal combustion engine cars

연구방법론

1. 요인분석(Factor analysis)

요인분석이란, 측정변수들 간의 상호관련성에 대하여 회귀분석 또는 상관관계에 기초한 분석을 통해, 이들 간 공유하는 공통요인을 추출하는 방법이다. 측정변수들 간 공통요인을 통해 핵심적인 요인으로 축약하여, 변수의 정보 전달 및 이해력을 향상시킬 수 있으며, 나아가 추가적인 분석에 활용이 가능하다. 본 연구에서는 요인분석을 활용하여 개인 성향을 도출하고자 하였으며, 수행한 요인분석의 과정은 다음과 같다.

먼저, 모든 개인 성향 응답변수들에 대하여 상관행렬을 구하고, 각각의 요인들을 추출한다. 이후 요인들에 대한 해석이 용이하도록 요인회전 방법 중 직교회전의 배리멕스(varimax) 방법을 적용하였다. 배리멕스는 가장 널리 활용되는 방법으로, 한 공통인자에 대해 각 변수들이 가지는 인자적재값 제곱의 분산들이 최대가 되도록 변환하고, 요인행렬을 변환하는 과정에서 큰 값들은 더 크게, 작은 값들은 더 작도록 회적하는 방법이다. 이러한 과정을 통해 응답자들에 대한 각 개인 성향 요인들의 점수를 산출하였다.

요인분석의 변수선정 적합성에 대한 판단을 위해, 표본 적합성 측도를 나타내는 KMO(Kaiser Meyer Olkin) 측도 값을 검토하였다. 또한 요인분석이 적합한지를 판단하기 위해, Bartlett의 구형성 검정을 활용하였다. 마지막으로, 측정하고자하는 잠재변수들의 개념들이 조사대상자로부터 일관성 있도록 측정되었는지를 검증하기 위해, 신뢰도 분석을 통해 Cronbach α값을 확인하였다.

본 연구에서 활용한 요인분석 모형식은 Equation 1과 같다.

$$X_i = \lambda_{i1}f_1 + \lambda_{i2}f_2 + \cdots + \lambda_{im}f_m + u_i = \sum_{j=1}^{m}\lambda_{ij}f_j + u_i \tag{1}$$

여기서, X_i는 i번째 측정변수이며, f_i는 m개의 공통요인 중, j번째 공통요인이다. u_i는 i번째 측정변수의 고유요인이며, λ_{ij}는 공통요인의 기울기로 요인 적재량(factor loading)에 해당한다. 추가적으로, 측정변수 X_i의 분산을 Equation 2와 같이 분할하여 표현이 가능하다.

$$Var(X_i) = c_i + \psi_i = \lambda_{i2}^2 + \cdots + \lambda_{im}^2 + \psi_i = \sum_{j=1}^{m}\lambda_{ij}^2 + \psi_i \tag{2}$$

여기서, c_i는 측정변수 X_i의 공통분(communality)이며, ψ_i는 측정변수의 유일성(특수성)이다.

2. 이항 로지스틱 회귀모형(Binary logistic regression model)

로지스틱 회귀분석은 종속변수가 범주형으로 관측된 데이터 분석에 주로 활용되는 분석방법이다. 이때, 종속변수의 범주가 3가지 이상인 경우 다항 로지스틱 회귀모형을, 2가지인 경우 이항 로지스틱 회귀모형을 적용한다. 본 연구에서 종속변수로 활용한 친환경 경로 이용 의향은 “이용 의향 있음(Y=1)”과 “이용 의향 없음(Y=0)”으로 2가지 범주로 구성되어 있다. 이에 따라 이항 로지스틱 회귀모형을 활용하여 분석을 수행하였다.

이항 로지스틱 회귀모형은 종속변수의 기댓값인 확률이 독립변수의 수준 변화에 따라, 0과 1로 수렴하는 비선형 함수형태의 회귀모형으로 Equation 3과 같이 표현할 수 있다.

$$P(Y=1|X_i) = \frac{\exp(\beta_0 + \sum\beta_i X_i)}{1+\exp(\beta_0 + \sum\beta_i X_i)} \tag{3}$$

여기서, $P(Y=1|X_i)$는 친환경 경로를 선택할 확률이며, β_i는 각 변수들의 추정된 계수값이다. X_i는 친환경 경로 이용 의향에 영향을 미칠 것으로 판단되는 독립변수들로, 친환경 경로의 속성과 개인 특성들이다.

3. 친환경 경로 속성 반영 방법

본 연구에서는 친환경 경로의 속성이 친환경 경로 이용 의향에 미치는 영향을 분석하기 위해, 기존 경로와 친환경 경로의 속성 수준 차이를 분석에 활용하였다. 통행시간은 기존 경로보다 친환경 경로가 길게 설계되었으므로, 이에 따라 기존 경로 대비 친환경 경로의 통행시간 증가량을 산출하여 분석에 활용하였다. 탄소 배출량은 기존 경로보다 친환경 경로가 적도록 설계되었으므로, 기존 경로 대비 친환경 경로의 탄소 저감량을 산출하여 적용하였다. 최종적으로 친환경 경로의 속성 수준 반영 방법의 예시는 Table 5와 같다.

Table 5. Eco-friendly route attributes level reflection method

Shortest route		Eco-friendly route		Attributes level	
Travel time [T_s]	Carbon emission [C_s]	Travel time [T_e]	Carbon emission [C_e]	Increase in travel time [$T_e - T_s$]	Carbon reduction [$C_s - C_e$]
20	1,184	22	474	2	710
20	1,184	24	474	4	710
20	1,184	26	947	6	237
20	1,184	28	710	8	474
20	1,184	30	1,066	10	118
20	1,184	32	592	12	592
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

분석결과

1. 요인분석결과

요인분석결과 18개의 문항이 5가지 요인으로 Table 6과 같이 추출되었다. 변수선정의 적합성을 판단하기 위해, KMO 측도값을 확인한 결과 0.764로 변수선정이 적합한 것으로 확인되었다(Kaiser, 1974). 요인분석의 적합성을 판단하기 위해, Bartlett 구형성 검정 결과, p-value 값이 0.000으로 귀무가설 "상관계수 행렬이 단위행렬이다"를 기각하여 요인분석이 적합한 것으로 나타났다. 마지막으로, 신뢰도 분석을 수행한 결과, *Cronbach* α값은 모두 0.6 수준 이상으로 나타나 잠재변수의 개념들이 일관성 있게 측정된 것으로 판단된다. 도출된 잠재변수는 새로운 경로 탐색에 대한 거부감이 없으며 선호하는 성향인 "새로운 경로 탐색에 대한 열정", 통행 시 수단간 환승에 부담감이 없는 성향인 "수단간 환승 선호", 통행 시 정해진 시간을 지키는 것을 선호하는 성향인 "정시성 추구", 탄소 배출량을 줄이는 방법에 대한 지식 수준을 나타내는 "탄소저감지식", 탄소 배출량을 줄이기 위해 노력하는 성향인 "탄소저감실천"으로 5가지이다. 여기서 "탄소저감태도" 성향과 관련한 문항은 요인분석과정에서 적합하지 않게 나타나 제외하여 분석을 수행하였다.

Table 6. Factor analysis results

Type		Factor				
Latent variable	Questions	1	2	3	4	5
Passion for search new route	PN1	0.813				
	PN2	0.844				
	PN3	0.685				
	PN5	0.680				
Preference for transfer between travel mode	PT1		0.680			
	PT2		0.695			
	PT3		0.749			
	PT5		0.569			
Importance of punctuality	IP1			0.817		
	IP2			0.780		
	IP4			0.796		
	IP5			0.721		
Low-carbon knowledge	LK3				0.777	
	LK4				0.784	
	LK5				0.766	
Low-carbon habit	LH1					0.768
	LH2					0.789
	LH5					0.757
Cronbach α		0.817	0.634	0.826	0.800	0.782
KMO measure of sampling adequacy				0.764		
Bartlett test of sphericity	Approx χ^2			889.759		
	Degrees of freedom			153.000		
	P-value			0.000		
Sample size				117		

2. 기초통계분석결과

기초통계분석결과 Table 7과 같이 분석되었다. 통근 단거리 상황에서 친환경 경로 이용 의향이 있는 응답은 약 55%로 절반 이상으로 나타난 반면, 통근 장거리 상황에서 친환경 경로 이용 의향이 있는 응답은 약 30%로 비교적 적은 것으로 나타났다. 이는 장거리의 통행에서 추가적인 시간을 소요하는 것이 단거리 상황보다 부담을 느끼는 것으로 해석된다. 응답자의 성별은 남성이 약 61%로 여성보다 많은 것으로 나타났으며, 40대 이상의 비율이 57%로 40대 미만보다 많은 것으로 나타났다. 응답자들의 평균 소득은 월평균 약 400만원대 수준으로 나타났다(⑤=400-500만원 미만, ⑥=500-600만원 미만). 응답자들의 약 9%가 하이브리드 차량을 보유하였으며, 3%가 전기차를 보유한 것으로 나타났다. 이는 Table 1에서 제시된 자동차 등록대수 현황의 하이브리드 차량 보유자가 전기차 보유자보다 더 많은 것과 유사하게 나타났다. 일주일간 승용차 평균 이용 횟수는 약 3.02회 이용하는 것으로 나타났으며, 1회 이용 시 평균 15.67분 이용하는 것으로 나타났다.

Table 7. Descriptive statistics

Variable	N	Min	Max	Mean	Std.v
Willingness to use eco-friendly routes (short distance)	585	0	1	0.55	0.498
Increase in travel time (short distance)	585	2	12	6.88	3.440
Carbon reduction (short distance)	585	118	710	471.28	201.281
Willingness to use eco-friendly routes (long distance)	585	0	1	0.30	0.459
Increase in travel time (long distance)	585	4	29	16.50	8.571
Carbon reduction (long distance)	585	370	2,220	1,292.15	634.280
Gender (1=male)	585	0	1	0.61	0.489
Age (1=over 40s)	585	0	1	0.57	0.495
Income	585	1	11	5.15	2.453
Hybrid car owner (1=owner)	585	0	1	0.09	0.280
Electric car owner (1=owner)	585	0	1	0.03	0.182
Average number of car uses per weekdays	585	0	10	3.02	4.150
Average car use time per use	585	0	90	15.67	21.596
Passion for search new route	585	-4.0044	1.9141	0.0000	0.9966
Preference for transfer between travel mode	585	-2.6735	2.3518	0.0000	0.9966
Importance of punctuality	585	-5.2896	1.9503	0.0000	0.9966
Low-carbon knowledge	585	-4.2203	1.7037	0.0000	0.9966
Low-carbon habit	585	-3.3525	2.1380	0.0000	0.9966

3. 이항 로지스틱회귀모형 추정결과

이항 로지스틱회귀모형 추정 결과 Table 8과 같이 분석되었다. 모형의 설명력을 나타내는 $Pesudo-R^2$는 통근 단거리 모형에서 0.596, 통근 장거리 모형에서 0.676으로 나타났다. 친환경 경로 속성 변수인 통행시간 증가량과 탄소저감량은 통근 단거리와 통근 장거리 모형 모두에서 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 개인 특성 변수에서는 40대 이상인 경우와 소득이 통근 단거리 모형에서만 유의하게 나타났으며, 반면 하이브리드 차량 보유 여부는 통근 장거리 모형에서만 유의한 것으로 나타났다. 전기차 보유자는 통근 단거리와 장거리 모형 모두에서 유의하게 나타났다. 개인 통행 특성인 일주일간 승용차 평균 이용 횟수는 두 모형 모두에서 유의하지 않게 나타난 반면, 승용차 1회 이용 시 평균 이용시간은 통근 단거리 모형에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 개인 성향 변수로는 “정시성 추구”, “탄소저감지식”, “탄소저감실천”이 유의하게 나타났다.

기존 경로 대비 친환경 경로의 통행시간 증가량은 통근 단거리와 장거리 모형 모두에서 음의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 단거리 통행이 장거리 통행보다 통행시간 증가에 더 민감한 것으로 분석되었다. 이는 단거리 통행보다 장거리 통행 상황에서의 시간가치가 낮은 것과 관련이 있다(Lee et al., 2003). 통근 상황의 통행시간거리별 통행시간가치가 단거리 상황이 장거리 상황보다 크기 때문에, 짧은 거리를 이동하는 경우 통행시간의 증가량이 더 민감

하게 나타난 것으로 판단된다. 탄소 배출량 감소량은 두 가지 모형 모두에서 유의한 양의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 통행시간 증가량과 유사하게 단거리 상황이 장거리보다 탄소 배출량 감소량에 더 민감한 것으로 나타났다.

Table 8. Binary logistic regression analysis results

Variable	Short distance		Long distance	
	β	Exp(β)	β	Exp(β)
Constant	0.969***	2.637	0.281	1.325
Increase in travel time	−0.207***	0.813	−0.157***	0.855
Carbon reduction	0.002***	1.002	0.000*	1.000
Gender (1=male)	0.034	1.035	0.264	1.302
Age (1=over 40s)	0.451**	1.570	0.137	1.147
Income	−0.091**	0.913	0.078	1.081
Hybrid car owner (1=owner)	0.118	1.126	0.651*	1.918
Electric car owner (1=owner)	−1.723***	0.178	−1.456*	0.233
Average number of car uses per weekdays	0.020	1.020	0.013	1.013
Average car use time per use	0.013*	1.013	0.002	1.002
Passion for search new route	0.094	1.098	0.177	1.194
Preference for transfer between travel mode	0.024	1.024	−0.013	0.987
Importance of punctuality	0.169*	1.185	−0.019	0.981
Low-carbon knowledge	0.294***	1.342	0.132	1.142
Low-carbon habit	0.509***	1.663	0.084	1.088
N	585			
$-2LL(0)$	843.977			
$-2LL(\beta)$	682.208		546.161	
$Pesudo-R^2$	0.596		0.676	

*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01

개인 특성 변수 중, 40대 이상인 경우가 통근 단거리 모형에서 친환경 경로 이용 의향에 유의한 양의 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 설문조사 대상이 20대부터 60대 미만인 점을 고려할 때, 20-30대 청년층보다 40-50대의 중장년층의 이용 의향이 높은 것으로 해석할 수 있다. 이는 중장년층이 청년층보다 더 긍정적인 친환경태도 및 환경정체성을 가지는 것과 관련이 있다(Bai et al., 2019). 고연령일수록 자신에 대한 인식이 뚜렷해지고, 경험이 풍부하여 적극적으로 친환경 행동에 참여하는 것으로 볼 수 있다. 소득은 단거리 모형에서 유의한 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 고소득자일수록 통근 단거리 상황에서 의향이 감소하는 것으로 해석할 수 있으며, 저감되는 탄소의 가치가 고소득자들의 시간가치보다 적기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

하이브리드 차량 보유자인 경우, 통근 장거리 모형에서만 유의한 양의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 전기차 보유자인 경우 두 모형 모두에서 유의한 음의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 하이브리드 차량은 내연기관과 전기를 함께 사용하므로, 기존 통행 행태에 있어서 탄소를 배출한다. 탄소 배출은 연료 소비량과 깊은 관련이 있으며, 이에 대한 영향이 반영된 것으로 판단된다. 전기차는 기존 통행에 있어서 탄소 배출량이 없으므로, 친환경 경로를 이용하여 탄소 저감을 위해 추가적인 시간을 소요하는 것에 대한 거부감이 있을 것으로 판단되며, 친환경 경로의 탄소 저감량에 대한 만족감이 낮아 나타난 결과로 판단된다.

개인 통행 특성 변수 중, 일주일간 승용차 평균 이용 횟수는 두 가지 모형에서 모두 유의하지 않게 나타난 반면, 승용차 1회 이용 시 평균 이용시간은 단거리 모형에서 유의한 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 승용차 1회 이용 시 이용시간이 긴 응답자는 상대적으로 추가적인 통행시간에 대한 거부감이 비교적 적기 때문에 이용 의향이 높은 것으로 판단된다.

개인 성향 변수는 “정시성 추구”, “탄소저감지식”, “탄소저감실천” 요인이 통근 단거리 모형에서만 친환경 경로 이용 의향에 유의한 양의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. “탄소저감실천” 요인의 영향력이 가장 크게 나타났으며, 이는 실질적으로 탄소 저감을 위한 친환경적 행동을 실천하고 있는 사람들의 행태에 따른 결과로 판단된다. “탄

소저감지식"도 유사하게 탄소 저감을 위한 친환경 행동 방법을 인지하고 있는 친환경적 성향이므로 나타난 결과로 판단된다. "정시성 추구"의 경우, 본 연구에서 활용한 SP 조사에는 통행시간변동성이 반영되어 설문이 수행되지 않은 결과로 판단된다. 하지만, 친환경 경로에 통행시간변동성이 반영되는 경우 선행연구들의 결과와 유사하게, 통행시간변동성이 클수록 이용 의향은 감소할 것으로 판단된다(Gan et al., 2010; Xu et al., 2010; Gan and Bai, 2014).

결론

1. 연구 요약 및 질문 검증

기후변화로 인하여 발생하는 기후문제들은 우리의 삶에 직접적인 영향을 미치고 있다. 전 세계적으로 이러한 기후변화에 대응하기 위해 다양한 전략 및 정책을 수립하여 노력을 기울이고 있으며, 국내에서는 IPCC에서 제시하는 2050년 탄소중립 목표를 달성하기 위한 전략과 정책을 수립하여 시행하였다. 하지만, 이러한 노력에도 불구하고 실질적인 탄소 배출량의 감축은 이루어지지 않고 있는 현황이며, 그 결과 2023년 7월 6일 지구 평균기온은 17.23℃로 최고기록을 갱신하였다. 현재 수송부분의 대표적인 정책으로는 전기차 등과 같이 미래모빌리티로의 전환을 통한 온실가스 감축이지만, 이는 장기적인 측면의 정책으로 현재 실질적인 탄소 저감 효과가 미미한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 현재 사용되고 있는 화석연료를 효율적으로 이용하여 탄소를 저감시킬 수 있는 보다 현실적이고 효과적인 방안인 친환경 경로에 주목하였다. 현재 국내에서는 서비스되고 있지 않는 친환경 경로 정보 제공 서비스의 성공적인 국내 도입을 위해, 친환경 경로 이용 의향에 미치는 영향요인을 분석하였다. SP 조사자료를 기반으로 경로 선택모형을 구축하였으며, 친환경 경로 속성, 개인의 사회경제적 및 통행, 성향 특성을 반영하여 분석을 수행하였다.

분석결과를 토대로 앞서 설정한 연구 질문을 검증하였다.

첫째, "기존 최단 경로와 친환경 경로의 속성(통행시간, 탄소 배출 저감량)의 차이가 이용 의향에 영향을 미치는가?" 기존 경로 대비 친환경 경로의 통행시간이 증가할수록 이용 의향이 감소하는 것과, 탄소 배출 저감량이 증가할수록 친환경 경로 이용 의향이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 기존 경로 대비 친환경 경로의 속성 차이가 이용 의향에 유의한 영향을 미치는 것을 확인하였다.

둘째, "기존 통행 행태에 따라 친환경 경로 이용 의향에 차이가 존재하는가?" 승용차 이용 횟수는 유의미한 영향을 미치지 않는 반면, 통근 단거리 상황에서 승용차 1회 이용 시 평균 이용시간이 유의한 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 기존 통행 행태의 차이가 친환경 경로 이용 의향에 유의미한 영향을 미치는 것을 확인하였다.

셋째, "개인적 특성(연령, 성별, 개인 성향 등)에 따라 친환경 경로 이용 의향에 차이가 존재하는가?" 모형추정결과, 40대 이상인 경우, 소득 등과 같은 개인 사회경제적 특성, "정시성 추구", "탄소저감지식", "탄소저감실천" 등과 같은 개인 성향 변수가 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 개인적 특성에 따라 친환경 경로 이용 의향에 차이가 존재하는 것을 확인하였다.

2. 시사점 및 정책적 제언

주요 분석결과를 토대로 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

첫째, 기존 경로 대비 친환경 경로의 속성 수준인 통행시간 증가량과 탄소 저감량의 영향이 유의하게 나타났다. 또한 장거리 상황보다 단거리 상황의 통행시간 증가량과 탄소 저감량의 영향력이 더 크게 분석되었다. 이에 따라 친환경 경로 정보 제공 시 거리에 따라 두 요인의 차이를 고려한 정보 제공이 필요할 것으로 판단된다. 특히, 단거리 상황에서는 통행시간 증가량을 민감하게 고려해야할 것으로 판단된다.

둘째, 연령 및 소득에 따라 친환경 경로 이용 의향에 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 분석결과에 따라 친환경 경로 이용 의향이 높은 중장년층을 대상으로 서비스를 제공해야할 필요가 있지만, 청년층의 이용을 유도할 수 있는 탄소인센티브제 등과 같은 정책이 필요할 것으로 판단된다. 또한 개인의 소득에 따라 친환경 경로 이용 의향에 차이

가 존재하므로, 저감되는 탄소의 가치를 환경문제 해결에 기여하는 정도 등과 같이 이해하기 쉬운 정보로 제공하여, 고소득자들의 이용을 유도할 필요가 있을 것으로 판단된다.

셋째, 승용차 이용 횟수보다 승용차 1회 이용 시 평균 이용시간이 이용 의향에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 승용차를 자주 이용하는 운전자들이 아닌, 1회 이용 시 평균적으로 긴 시간을 이용하는 운전자들을 대상으로 서비스를 제공해야할 필요가 있을 것으로 판단된다. 하지만, 효과적인 탄소 저감을 위해서는 승용차를 자주 이용하는 운전자들의 친환경 경로 이용을 촉진시킬 필요가 있다. 따라서 운전자들의 친환경 경로 이용에 따른 보험료 감면 등과 같은 이용 유도 정책이 필요할 것으로 판단된다.

넷째, "탄소저감지식", "탄소저감실천"의 개인 성향 변수가 친환경 경로 이용 의향에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이러한 성향들의 영향을 고려하여, 탄소 저감 방법에 대한 교육을 활성화하고, 실천을 장려하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 먼저, 기후변화 문제를 실질적으로 생활에서 느낄 수 있는 사례를 통해, 탄소 저감의 필요성을 인지시키는 것이 필요하다. 다음으로, 일상생활에서 탄소를 저감할 수 있는 방법의 지속적인 교육을 제공해야한다. 이후 기후변화의 심각성을 인지하고, 교육된 탄소저감지식을 통해 탄소 저감 행동 실천을 장려하는 것이 필수적일 것으로 판단된다.

3. 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구의 한계점으로는 분석에 활용한 SP 조사자료의 친환경 경로 속성을 산정식을 통해 산출한 것이 아닌, 기존 최단 시간 경로를 기준으로 개략적인 수준을 설정하여 조사된 자료인 점이다. 이에 따라 실제 친환경 경로의 통행시간 증가 수준과, 탄소 배출 저감량의 수준을 반영하지 못하였다는 한계점이 존재한다. 향후 실제 통행자들의 출발지와 목적지에 따른 실제 최단 시간 경로와, 친환경 경로 탐색 알고리즘을 활용한 친환경 경로 정보를 제공한 세밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

또한, SP 조사의 경로 속성에는 통행시간과 탄소배출량만을 반영하여 설문을 수행하였으며, 경로 선택에 주요한 영향을 미치는 것으로 알려진 통행비용을 반영하지 못하였다는 한계가 존재한다. 해당 SP 조사는 통행비용의 영향을 제외하여 순수한 탄소 배출량의 영향을 파악하고자 수행되었지만, 향후 통행비용 정보가 추가적으로 제시되는 경우 통행자들의 친환경 경로 이용 의향에 변화가 있을 것으로 판단된다. 차량 운행으로 인한 탄소 배출은 차량의 연료 소모량과 직접적인 관련이 있으므로, 친환경 경로를 이용하는 경우 유류비가 감소하게 된다. 따라서 친환경 경로 정보에 유류비 등과 같은 통행비용을 함께 제공하고, 나아가 탄소 저감 마일리지 등과 같은 제도의 도입을 통해 친환경 경로 이용을 활성화한다면, 운전자들의 탄소 저감 행동을 촉진시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해 향후 통행비용과 함께 설문조사를 통해 친환경 경로 이용 의향의 변화를 파악하고, 통행시간 및 탄소 배출량의 영향력의 변화를 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Funding

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Grant RS-2023-00245871).

알림

본 논문은 대한교통학회 및 대한국토도시계획학회 공동학술대회(2023.10.12.)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

SHIN, Songhyeon http://orcid.org/0000-0003-3960-8956
LEE, Yoonhee http://orcid.org/0009-0006-2680-990X
LEE, Gyeongjae http://orcid.org/0000-0002-7867-6129
CHOO, Sangho http://orcid.org/0000-0003-1530-8377

REFERENCES

Ahn K., Rakha H. (2008), The Effects of Route Choice Decisions on Vehicle Energy Consumption and Emissions, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 13(3), 151-167.

Andersen O., Jensen C. S., Torp K., Yang B. (2013), EcoTour: Reducing the Environmental Footprint of Vehicles Using Eco-routes, 2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management, 338-340.

Bai X., Park J., Joung S. (2019), Determinants of Eco-Friendly Consumption Behavior: Focusing on Eco-Friendly Attitude, Environmental identity and Normalization of Eco-Friendly Consumption Behaviors, Consumer policy and education review, 15(3), 127-149.

Barth M., Boriboonsomsin K., Vu A. (2007), Enviromentally-Friendly Navigation, 2007 IEEE International Transportation Systems Conference, 684-689.

Boriboonsomsin K., Barth M. J., Zhu W., Vu. A. (2012), Eco-Routing Navigation System Based on Multisource Historical and Real-Time Traffic Information, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13(4), 1694-1704.

Climate Reanalyzer, 2m Temperature World, https://climatereanalyzer.org/clim/t2_daily, 2023.08.08.

Ericsson E., Larsson H., Brundell-Freij K. (2006), Optimizing Route Choice for Lowest Fuel Consumption: Potential Effects of a ne Driver Support Tool, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 14(6), 369-383.

Gan H., Bai Y. (2014), The Effect of Travel Time Variability on Route Choice Decision: a Generalized Linear Mixed Model Based Analysis, Transportation, 41, 339-350.

Gan H., Xin Y., Qing W. (2010), Investigating the Effect of Travel Time Variability on Drivers' Route Choice Decisions in Shanghai, China, Transportation Planning and Technology, 33(8), 657-669.

Google, Environmental Report (2023).

Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea (2023), Climate Change and Carbon Neutrality, 25.

Iraganaboina N. C., Bhowmik T., Yasmin S., Eluru N., Abdel-Aty M. A. (2021), Evaluating the Influence of Information Provision (when and how) on Route Choice Preferences of Road Users in Greater Orlando: Application of a Regret Minimization Approach, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 122, 102923, 1-17.

Juřík T., Cela A., Hamouche R., Natowicz R., Reama A., et al. (2014), Energy Optimal Real-Time Navigation System, Intelligent Transportation Systems Magazine, 6(3), 66-79.

Kaiser H. F. (1974), An Index of Factorial Simplicity, Psychometrika, 39, 31-36.

Kim H. R., Jun K. S., Park C. H. (2004), Modeling En-route Diversion Behavior Under On-site Traffic Information, J. Korean Soc. Transp., 22(3), Korean Society of Transportation, 137-144.

Kim S., Choi K., Yu J. (2006), Driver Route Choice Models for Developing Real-Time VMS Operation Strategies, Journal of the Korea Society of Civil Engineers, 26(3D), 409-416.

Ko J. H. (2018), There is a Clear Trend of Decreasing Carbon Emissions in the Transportation Sector, There is a Need to Continue to Pursue Transportation Demand Management Policies, The Seoul Institute Research Report, 1-26.

Kubička M., Klusáček J., Sciarretta A., Cela A., Mounier H., et al. (2016), Performance of Current Eco-Routing Methods, 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 472-477.

Lee H. K., Ko Y. S., Lim Y. T., Kim T. H., Yang I. S. (2003), The Estimation of Value of Travel Time Through Market Segmentation: Focusing on Car Drivers of Seoul Metropolitan Area, The Korea Spatial Planning Review, 39, 147-161.

Lee S. K., Noh D. W., Heo Y. J., Choi Y. S., Kim S. I., Yu H. Y. (2021), Comparative Analysis of the Carbon Neutral Strategies of Major World Countries and China's Low-Carbon Strategy, Korea Institute for International Economic Policy, Chinese Comprehensive Research, 1-243.

Minett C. F., Salomons A. M., Daamen W., Arem B. V., Kuijpers S. (2011), Eco-routing: Comparing the Fuel Consumption of Different Routes Between an Origin and Destination Using Field Test Speed Profiles and Synthetic Speed Profiles, 2011 IEEE Forum on Intergrated and Sustainable Transportation Systems, 32-39.

Ministry of Environment, Press Release, 2023.7.25.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Press Release, 2023.01.26.

Nam G. M., Sung S. L., Jang J. C. (1995), The Influence of Traffic Information on Drivers' Route Preference, Journal of the Korea Society of Civil Engineers, 15(6), 1479-1487.

Qi X., Ji Y., Yu J., Bu Q., Samal D. I., (2022), Influence of smartphone traffic application information on drivers' route choice behaviours, IET Intelligent Transport Systems, 16(10), 1413-1426.

Park B., Lee J., Choi K., Song P. (2010), A Route Choice Model with Considering Fuel Cost by Travel Distance, Journal of the Korea Society of Civil Engineers, 30(6D), 599-604.

Xu C., Wang W., Li Z., Yang C. (2010), Comparative Study on Drivers' Route Choice Response to Travel Information at Different Departure Time, 2010 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, 97-100.

Yao E., Song Y. (2013), Study on Eco-Route Planning Algorithm and Environmental Impact Assessment, Journal of Intelligent Transportation Systems, 17(1), 42-53.