

친환경 대중교통 수단에 대한 인지적 특성 비교 분석 : 주성분분석을 활용하여

Cognitive Perception of an Eco-friendly Public Transportation : Using Principal Component Analysis

권영민* · 김수지** · 변지혜***

* 주저자 : KAIST 기계기술연구소 연수연구원

** 공저자 : KAIST 조천식녹색교통대학원 박사과정

*** 교신저자 : KAIST 친환경스마트자동차센터 연구교수

Yeongmin Kwon* · Suji Kim** · Jihye Byun***

* Mechanical Technology Research Center, KAIST, Dajeon, Korea

** The Cho Chun Shik Graduate School of Green Transportation, KAIST, Dajeon, Korea

*** Center for Eco-friendly and Smart Vehicles, KAIST, Daejeon, Korea

† Corresponding author : Jihye Byun, snowflower@kaist.ac.kr

Vol.19 No.1(2020)

February, 2020
pp.71~82

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.1.71>

Received 26 December 2019
Revised 20 January 2020
Accepted 20 January 2020

© 2020. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

교통분야의 환경오염, 석유자원고갈, 지구온난화 문제 등으로 내연기관 중심의 기존 교통시스템은 전기화를 기반으로 빠르게 재편되고 있다. 이에 수송효율이 뛰어난 친환경 대중교통 수단이 향후 시장에 지속적으로 보급될 예정이다. 본 연구는 친환경 대중교통 수단들의 성공적인 도입을 위하여 대중교통 수단들의 기술적·사회적 요인들에 대한 이용 승객들의 인지적 특성을 비교분석하여 서비스 향상을 위한 방향 제시를 목표로 한다. 설문조사(N=485)를 통해 7가지 교통수단(전기버스, 수소버스, 경유버스, CNG버스, 지하철, 전기택시, 내연기관 택시)에 대한 7가지 요인(친환경성, 차내 청결성, 혼잡성, 도시 이미지, 가격경쟁력, 좌석 편안함, 승차감)의 평가가 진행되었으며, 이를 주성분분석을 활용해 분석하였다. 분석결과 잠재적 이용 승객들은 친환경 버스의 친환경성 및 도시 이미지 상승에 큰 기대를 가지고 있었으며, 기존 버스 대비 차내 청결성 및 승차감도 뛰어날 것이라는 인식을 가지고 있음이 확인되었다. 연구 결과를 통하여 친환경 대중교통 수단들에 대한 승객들의 인지적 특성을 파악할 수 있었으며, 이들 결과가 친환경 교통수단의 이미지 포지셔닝 및 서비스 향상을 위한 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

핵심어 : 친환경버스, 전기버스, 수소버스, 주성분분석, 지각도

ABSTRACT

The existing transportation system, which is based on internal combustion engines, is rapidly being converted to electrification. Thus, eco-friendly public transportation with high transportation efficiency will continue to spread throughout the market in the near future. The purpose of this study is to compare and analyze the cognitive characteristics of passengers regarding the technical and social factors of various public transportation means to help a successful introduction of eco-friendly public transit. Through a survey questionnaire (N=485), seven factors of seven transportation modes were evaluated and analyzed using principal component analysis. As a result, it is confirmed that potential passengers have high expectations for the eco-friendliness and city image of the

eco-friendly buses. Also, it is confirmed that eco-friendly buses are superior in cleanliness and ride comfort than diesel buses. Given the study's results, this study identifies the cognitive characteristics of passengers regarding eco-friendly public transportation. We hope that these results will be used as basic information for image positioning and improved service with the use of eco-friendly transportation.

Key words : Eco bus, Electric bus, Hydrogen bus, Principal component analysis, Perceptual map

I. 서론

교통 분야의 환경오염물 배출 저감과 석유자원 고갈 문제에 대비하기 위해 친환경 대중교통 수단에 대한 중요성이 점차 강조되고 있다. 2016년 우리나라의 CO₂ 배출량은 589.20백만tonCO₂eq로 10년 전 1997년의 CO₂ 배출량이 402.13백만tonCO₂eq인 것에 비하여 23.5% 증가하였다. 동일 기간 전 세계 CO₂ 배출량이 11.4% 증가하고 OECD 회원국의 CO₂ 배출량이 9.5% 감소한 것을 감안하였을 시 우리나라의 온실가스 감축을 위한 다양한 대책이 절실히 필요한 실정이다.

대한민국의 전체 CO₂ 배출량 중 교통 분야가 차지하는 비중은 약 16.2%이며(95.21백만tonCO₂eq), 이들 중 대부분이 도로 분야(약 95.1%)에 집중되어 있다. 특히 석유자원을 활용하는 내연기관 기반의 도로 교통 시스템은 환경오염물질 배출 저감 및 지속 가능한 발전을 위해 향후 전기화(Electrification)로의 전환이 가속화될 전망이다. 그 중심에는 다수의 승객을 수송할 수 있는 대중교통 시스템이 포함된다. 승객 1인을 1km 운송할 때 배출되는 온실가스량을 교통수단별로 분석한 연구에 따르면 승용차(173g/인·km) 대비 버스는 31.8%(55g/인·km), 도시철도의 경우 10.4%(18g/인·km)에 불과하다(Korea Railroad Research Institute, 2010). 개인 승용차 위주의 통행과 내연기관 위주의 교통 시스템이 전기화 기반의 대중교통 수단으로 전환될 경우 온실가스 배출량은 현재보다 월등히 낮아질 것으로 예상된다. 이에 대한민국 정부는 향후 수소버스, 전기버스와 같은 차세대 친환경 대중교통 수단의 보급을 지속해서 늘려나간다는 방침이다.

2019년 10월 관계부처 합동으로 발표한 “미래자동차 산업 발전전략, 2030년 국가 로드맵” 자료에 따르면 수소버스를 중심으로 대중교통 친환경 운영시스템을 확대하며, 운수사업자 선정 시 수소버스 가중치를 1.5배 확대하여 수요를 창출한다는 계획이다. 또한, 수소버스 개발 시 정부 R&D 지원을 추진할 전망이며, 그 결과 2019년 기준 37대에 불과한 수소버스의 누적 보급대수를 2020년 217대, 2021년 1,000대, 2022년 2,000대까지 확대시킬 예정이다. 이와 더불어 지자체별 구매보조금 배정, 전기버스 충전요금 할인, 전기버스 취득세 감면 확대 등의 지원을 통해 2022년까지 누적 3,000대의 전기버스를 보급할 계획이다. 또한 친환경 교통수단의 확대와 함께 향후 친환경 교통수단의 안전성 강화, 승차감 향상 등 이용자 편의를 높이기 위한 국내보급 확대 전략을 설계한다는 방침이다.

학술 분야에서는 친환경 대중교통 수단의 실제적인 도입에 대비하여 기술적·정책적·경제적 측면에서의 다양한 연구들이 진행되었다. 기술적 측면에서는 친환경 대중교통의 기술력 확보를 위한 연구 및 실증 운영을 통한 특성 파악에 관한 연구들이 이루어졌다. 수소·전기버스의 발전 시스템 최적화 (Jung et al., 2011), 통합 제어 로직 (Jeong et al., 2013), 구동모터 시스템 평가 (Lee and Myong, 2011) 등 개별 부품에 관한 기술적 연구가 진행되어 기존 내연기관 기반 버스를 대체하기 위한 부품 기술력을 점차 확보해 나가고 있다. 이와 함께 Park et al.(2014)는 연료전지버스의 실증 운영을 통해 운행거리, 운행률, 부품별 고장 비율 등 현대자동차 연료전지 차량 성능의 안전성 측면의 결과를 검증하였다. 학술적 연구 성과에 더불어 정부는 향후 미래

차 인프라·서비스 리빙랩(2020~2023, 세종·부산) 운영을 통해 친환경 교통수단을 포함한 미래 교통체계에 대한 실증테스트를 진행해 기술적 안전성을 확보해 나갈 계획이다.

최근에는 친환경 대중교통 수단 확대 방안을 마련하기 위해 지역적 특성에 맞는 정책적·경제적 측면의 연구가 활발히 진행되고 있다. Kim et al.(2018)은 수도권에 전기버스를 도입하는 방안을 마련하기 위해 국내외 사례검토-전기버스 도입 여건 조사-전기버스 기술수준 및 사업모델 조사-전기버스 도입 계획을 수립하였으며, 법제도 정비 방안, 전기버스 기술표준 제시, 공공주도의 충전소 확대, 관련 재정지원 확대 등의 전기버스 확대 방안을 제시하였다. Bak et al.(2018)은 대구광역시에 운행되고 있는 CNG 버스를 전기버스로 대체하는 방안을 3가지 충전방식(플러그인 충전방식, 배터리 교환방식, 무선 충전방식)에 대한 경제성 평가를 통해 제시하였다. 그 결과 CNG버스 충전방식에 비해 전기버스 충전방식이 경제적으로 타당하다는 사실을 입증하였다. 서울시의 전기버스 도입방안에 관해 연구한 Ko and Shim(2011)은 전기버스가 성공적으로 도입 및 운행되기 위한 조건으로 경제성, 편의성, 차종의 다양화를 언급하였으며, 공공기관과 민간이 적극적으로 협조해야 한다는 사항을 강조하였다. 이 외에도 제주도(Kim et al., 2015), 광주광역시(Choi, 2016) 등의 지역에서도 친환경 버스를 확대 도입하기 위한 연구가 진행되었다. 친환경 버스에 관한 기존연구는 <Table 1>과 같이 요약된다.

<Table 1> Summary of literature review

Author (year)	Research Target	Objectives	Results or Implications
Jung et al. (2011)	Hybrid Electric Bus	• Optimization of Generation System in Series HEV Bus	• Optimization of the power generation system can improve fuel economy of serial hybrid electric buses by about 2%.
Jeong et al. (2013)	Electric Bus	• Development of Integrated Control Logic of Wheel Motor Drive Electric Bus	• Developed control logic is more safe and well follow the target speed than the other control logic applied simulations
Lee and Myong (2011)	Electric Bus	• Assessment of Performance of Motor System for City Bus	• Energy efficiency of permanent magnet synchronous motor was about 90% and that 40% of demand energy was regenerated
Park et al. (2014)	Fuel Cell Bus	• Demonstration Results of Fuel Cell Buses of Hyundai Motor Company	• Mass-production possibility of FCB has high potential and HMC's technology will lead to fuel cell bus industry
Kim et al. (2018)	Electric Bus	• Introduction and expansion plans for electric buses in Gyeonggi-Do	• In order to expand the introduction of electric buses, the central government, Gyeonggi-Do and local city governments should cooperate systemically
Bak et al. (2018)	Battery-based Eco Bus	• Economic Analysis of Introducing Battery-Based Eco Bus	• Electric bus charging method proves economic feasibility compared to CNG bus charging method
Ko and Shim (2011)	Environmentally Friendly Buses	• Electric bus charging method proves economic feasibility compared to CNG bus charging method	• Provision of subsidy for the purchase of EV buses, charging facilities should be provided at convenient locations, and development of mid-size EV buses
Kim et al. (2015)	Electric Transit Bus	• Optimization of Electric Transit Bus Recharging Stations in Jeju	• Suggest 17 recharging sites whose spatial pattern is analyzed while estimating the charging demand at each site (Jeju)
Choi(2016)	Electric Bus	• Cost-Benefit Analysis on Introducing Electric Buses in Gwangju	• Net Present Value of costs of electric bus's reducing air pollutant is approximately 150 million won per bus

친환경 대중교통 수단이 새롭게 도입돼 내연기관 중심의 기존 대중교통 수단을 대체하고자 하는 만큼, 이들 수단에 대한 사회적 수용성 및 교통수단별 특성에 대한 이용 승객들(잠재적 이용 승객 포함)의 인지적 특성을 파악해 기존 대중교통 시스템과의 차별성을 도출하고 서비스 방향을 제시하는 연구는 필수적으로 선행되어야 한다. 지금까지 친환경 대중교통 수단의 도입을 위해 기술적·정책적·경제적 측면에서 다양한 연구가 진행되었지만, 교통수단 간의 상대적 인지적 특성을 파악하고 수단 별 서비스전략을 제시한 연구는 아직 이루어지지 않았다.

이에 본 연구는 차세대 친환경 대중교통 수단을 포함한 총 7 종류의 지역 내 대중교통 수단에 대한 이용 승객들의 인지적 특성을 주성분분석을 활용하여 비교 분석하고, 교통수단 간 인식 차이를 파악하는 것을 주요 목표로 하였다. 또한, 전기버스 이용 유무에 따른 집단 간 차이점을 비교 분석한 후 차세대 대중교통 수단의 도입 및 이미지 개선을 위한 방안 제시에 근거가 될 만한 연구를 진행하고자 하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 지역 내 대중교통 수단 및 인지적 특성에 대한 정의를 서술하였으며, 수단 별 인지적 특성 차이를 분석하기 위한 설문 설계 및 데이터 수집에 대한 내용을 3장에 기술하였다. 4장에는 분석방법론인 주성분분석(principal component analysis; PCA) 개념 및 7종류의 대중교통 수단에 대한 이용 승객들의 인지적 특성 분석 결과를 설명하고자 하였으며, 마지막 5장에서는 본 연구의 결론 및 시사점을 제시하였다.

II. 지역 내 대중교통 수단 및 인지적 특성 정의

1. 지역 내 대중교통 수단 종류

본 연구는 향후 도입될 친환경 대중교통 수단들의 사회적·기술적 속성에 대한 잠재적 이용승객들의 인지적 특성 파악을 목적으로 한다. 이를 위해 기존 대중교통 및 운송수단 4종류와 차세대 친환경 대중교통 및 운송수단 3종류 등 총 7종류의 교통수단에 대한 이미지 분석을 시행하였다. 본 연구에서 분석한 각 교통수단의 종류 및 정의는 다음과 같다.

1) 친환경 대중교통 수단

친환경 대중교통 수단이란 전기에너지를 동력원으로 운행되는 차세대 신교통수단으로 전기버스, 수소버스, 전기택시 등을 포함하며 가까운 시일 내 상용화 가능한 교통수단을 뜻한다.

전기버스는 배터리에서 전기에너지를 모터로 공급하여 구동력을 발생시키는 버스로 전기자동차의 일종이다. 국내에서는 2011년 서울시가 남산 순환 버스로 9대의 전기버스를 최초 도입하였으며, 친환경 도시 이미지 구축과 연료비 절감 등의 장점을 바탕으로 2016년 이후 수도권과 제주도를 중심으로 전기버스의 보급이 확대되었다(연도별 전국 전기버스 보급대수 : 2015년 22대, 2016년 52대, 2017년 128대). 친환경 대중교통 보급을 강조하는 정부 정책기조에 맞춰 광주, 부산 등 타 지자체들도 전기버스의 도입 및 운영을 향후 점진적으로 증가시킬 계획이다.

수소버스는 수소연료전지로부터 전기를 얻어 구동하는 버스로 수소자동차의 일종이며 전기버스와 함께 차세대 친환경 대중교통 수단으로 각광받고 있다. 하지만, 수소충전소 등 인프라 부족으로 전기버스에 비해 보급률이 낮은 실정이다. 2018년 기준 2대의 수소버스가 운행 중으로 전기버스에 비해 보급률이 낮은 수준이지만 대형차량에 대하여 수소연료전지차로의 전환을 권장하는 정부 기조에 맞춰 2022년까지 약 2,000대의 수소버스가 전국에 보급될 계획이다.

전기택시는 전기버스와 같이 전기를 동력원으로 삼아 운행하는 사업용 자동차로 2012년 택시를 대중교통 범위에 포함시키는 법안이 발의되기도 했다. 주행거리가 상대적으로 긴 사업용 택시의 경우 전기택시로 전환 시 친환경성, 효율성 등에서 큰 장점을 가지므로, 서울시는 2025년까지 총 4만대의 전기택시를 확충할 계획을 가지고 있다.

2) 기존 대중교통 수단

친환경 대중교통 수단의 인지적 특성을 기존 대중교통 수단과 비교하기 위하여 현재 활발히 운행되고 있는 기존 대중교통 수단들을 연구 대상으로 함께 고려하였다. 기존 대중교통 수단이란 내연기관 기반으로 운행되는 교통수단으로 경유버스, CNG버스, 지하철, 및 내연기관(휘발유, LPG) 택시 등을 포함한다.

현재 운행 중인 대부분의 시내버스는 경유버스 혹은 CNG버스이며 주 에너지원에 따라 버스 차량이 구분된다. 대기환경 개선 및 노후버스 교체작업을 위해 2000년대 초반부터 경유버스가 CNG버스로 대체되고 있다. 그 결과 2017년 기준 전국에서 운행 중인 34,473대의 시내버스 중 CNG 버스가 77.9%, 경유버스가 21.7%를 차지하는 것으로 조사되었다.

그 외 기존 대중교통 수단 중 지하철은 빠른 속도로 이동하며 교통 혼잡을 줄이기 위해 도심지의 일부 혹은 전부를 지하 전용차선으로 운행되는 전동차를 뜻하며, 내연기관 택시는 요금을 받고 승객을 원하는 목적지까지 수송하는 영업용 승용차로 정의된다. 비록 택시가 대중교통 수단에는 포함되지 않지만, 승객들이 이동시키는 운송수단인 만큼 본 연구의 분석대상에 포함했다.

2. 대중교통 수단에 대한 인지적 특성 종류

본 연구는 대중교통 수단들의 사회적·기술적 속성과 관련된 7가지 요인에 대한 이용자들의 인지적 특성을 분석하고자 한다. 승차감, 차내 청결성, 차내 혼잡성, 요금 경쟁력, 좌석 편안함 등 기존의 대중교통 서비스 연구에서 고려되던 5가지 요인에(Mahmoud and Hine, 2013; Noor and Foo, 2014), 친환경성, 도시 이미지 개선 등 친환경 대중교통 서비스와 관련된 2가지 요인을 추가로 포함했다. 본 연구에서 검토한 7가지 요인 및 정의는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Definition of factors related to public transportation services

Factor	Definition
Ride-comfort	• Comfort about vibration and noise during departure, drive, and stop
In-vehicle cleanliness	• Cleanliness for indoor of the eco-friendly bus
In-vehicle crowdedness	• Indoor-crowding caused by bus users
Fare competitiveness	• Competitiveness of public transportation fees
Seat-comfort	• Seat comfort of a bus
Eco-friendly	• Diminishment of emission occurred by operation of eco-friendly bus
Improvement of city-image	• Improvement of city-image by operating transportation

기존 대중교통 서비스와 관련된 요인으로는 승차감(Ride-comfort; 출발-주행-정차에서 발생하는 진동, 소음에 관한 편안한 정도), 차내 청결성(In-vehicle cleanness; 교통수단 내부의 깨끗한 정도), 차내 혼잡도(In-vehicle

crowdedness; 교통수단 내부 이용 승객 등으로 인해 발생하는 혼잡한 정도), 요금 경쟁력(Fare competitiveness; 교통수단의 이용 요금의 경쟁력), 좌석 편안함(Seat comfort; 교통수단 좌석의 편안함 정도) 등 5가지 요인을 고려하였다.

이 외 친환경 교통수단이 도입됨에 따라 고려될 수 있는 친환경성(Eco-friendly; 해당 교통수단 운영으로 발생하는 배기가스 등 환경에 가하는 위해가 적은 정도를 뜻하는 친환경성)과 도시 이미지 개선(Improvement of city-image; 해당 대중교통 수단 운영으로 인해 예상되는 도시 이미지 개선 정도) 등의 2가지 사회적 요인을 추가로 포함했다.

III. 설문 설계 및 표본 특성

1. 설문 설계

본 연구는 친환경 대중교통 수단을 포함한 도시 내 7가지 대중교통 수단에 대한 잠재적 이용승객들의 인지적 특성을 비교하는 데 있다. 설문조사는 대중교통 수단을 적어도 1회 이상 이용한 경험이 있는 대한민국 성인을 대상으로 2019년 10월 온라인에서 시행되었다.

설문조사는 총 2부분으로 구성된다. 우선 설문 응답자의 나이, 성별, 직업, 가계소득 등의 개인적 특성을 확인할 수 있는 질문을 첫 번째 부분에서 포함한다. 두 번째 부분은 1~10점의 등간척도(Interval Scale)를 활용하여 7가지 대중교통 수단(전기버스, 수소버스, 전기택시, 경유버스, CNG버스, 지하철, 택시)에 대한 응답자들의 7가지 인지적 특성(친환경성, 청결성, 혼잡성, 도시 이미지, 가격경쟁력, 좌석 편안함, 승차감)을 총 49개 문항(7가지 대중교통 수단×7가지 인지적 특성)으로 측정하였다. 설문조사의 구성은 <Table 3>과 같다.

온라인 설문조사 전문업체를 통하여 총 684부의 설문지가 회수되었다. 이 중 설문 응답이 불성실한 다음의 2가지 유형-i) 응답자 개인적 특성을 묻는 첫 번째 부분에서 평소 통행수단을 질의한 항목을 설문지 전후로 중복되게 배치한 후 2가지 문항에 대한 응답을 다르게 표기한 경우, ii) 설문 응답시간이 과도하게 짧은 아웃라이어(Q1-1.5*IQR)에 속한 응답지 중 항목에 대한 평가가 모두 같은 경우-에 속한 응답자를 평가에서 제거하였다. 그 결과 199부가 제거되었으며, 최종적으로 485부에 대한 분석이 진행되었다.

<Table 3> Summary of survey questionnaires

Classification	Survey questionnaires examples	Scale																																																							
Part 1. Sample characteristics (Age, Gender, Job, Etc.)	Q. What is your age? () in years Q. What is your gender? (1) Male (2) Female :	Nominal scale, Ratio scale																																																							
Part 2. PCA questionnaires (Total 49 questionnaires =7 attributes x 7 transit mode)	Q. Please check the image (or anticipated) score for 'In-vehicle crowdedness' of the following eight transportation modes. * In-vehicle crowdedness: Indoor-crowding caused by passengers <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Mode \ Attribute</th> <th colspan="10">In-vehicle crowdedness</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diesel Bus</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td> </tr> <tr> <td>Electric Bus</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td> </tr> <tr> <td>Subway</td> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td> </tr> <tr> <td>:</td> <td>:</td><td>:</td><td>:</td><td>:</td><td>:</td><td>:</td><td>:</td><td>:</td><td>:</td><td>:</td> </tr> </tbody> </table>	Mode \ Attribute	In-vehicle crowdedness										Diesel Bus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Electric Bus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Subway	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	Interval Scale (1~10)
Mode \ Attribute	In-vehicle crowdedness																																																								
Diesel Bus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																															
Electric Bus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																															
Subway	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																															
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:																																															

2. 표본 특성

설문에 참여한 응답자들의 인구 통계학적 특성이 모집단을 잘 대변할 수 있는지 확인하였다. 설문에 참여한 총 485명 중 남성 응답자가 248명으로 여성 응답자 237명과 거의 동일한 비율로 수집되었다. 이들의 평균 연령은 45.9세로 분석되었으며, 응답자의 구성 비율이 가장 높은 연령층은 50-59세(23.3%)인 것으로 조사되었다. 응답자들의 평소 통행수단 정보를 수집한 결과 버스가 40.8%로 가장 높게 나타났으며, 자가용(28.0), 지하철(22.5%), 도보(7.8%) 순으로 이용 비율이 높은 것으로 분석되었다. 또한, 전체 응답자들 중 30.3%가 차세대 대중교통 수단 중 전기버스를 적어도 1회 이상 이용한 경험이 있는 것으로 조사되었다. 표본특성은 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Characteristics of the sample population

Sample attributes	(%)	Sample attributes	(%)
Sample size	485	Electric Bus Experience	Yes 30.3
Gender	Male	No	69.7
	Female	Bus	40.8
Age	Under 30	Passenger vehicle	28.0
	30-39	Mode	Subway 22.5
	40-49	Walking	7.8
	50-59	etc.	0.8
Household Income	60 and over	Office work	40.2
	Under 2.00 million KRW	Service	8.5
	2.00-2.99 million KRW	Self-employed	9.1
	3.00-3.99 million KRW	Job	Specialized job 10.5
	4.00-4.99 million KRW	Housewife	13.4
	5.00-5.99 million KRW	Student	5.6
	Over 6.00 million KRW	etc.	12.7

IV. 연구방법론 및 분석결과

1. 주성분분석(Principal Component Analysis: PCA)

주성분분석은 다변량 분석에서 사용되는 기법의 하나로 고차원 데이터를 저차원의 데이터로 환원시키는 기법을 뜻한다. Person(1901)에 의해 소개된 주축정리이론(principal axis theorem)과 유사하게 처음 제기되었으며, 향후 Hotelling(1933)에 의해 개념이 정립되었다. 객체간의 거리 행렬만으로 적용 가능한 다차원척도법(multidimensional scaling method)과 달리 (Kwon, 2016), 주성분분석은 데이터의 축소 이외에 변수의 잠재적 특성 파악과 소비자의 인식이나 선호도의 공간적 표현 또한 가능하다는 장점으로 (Kim, 2016) 인문학, 경제학, 경영학, 공학 등 다양한 학문에서 널리 활용되고 있다.

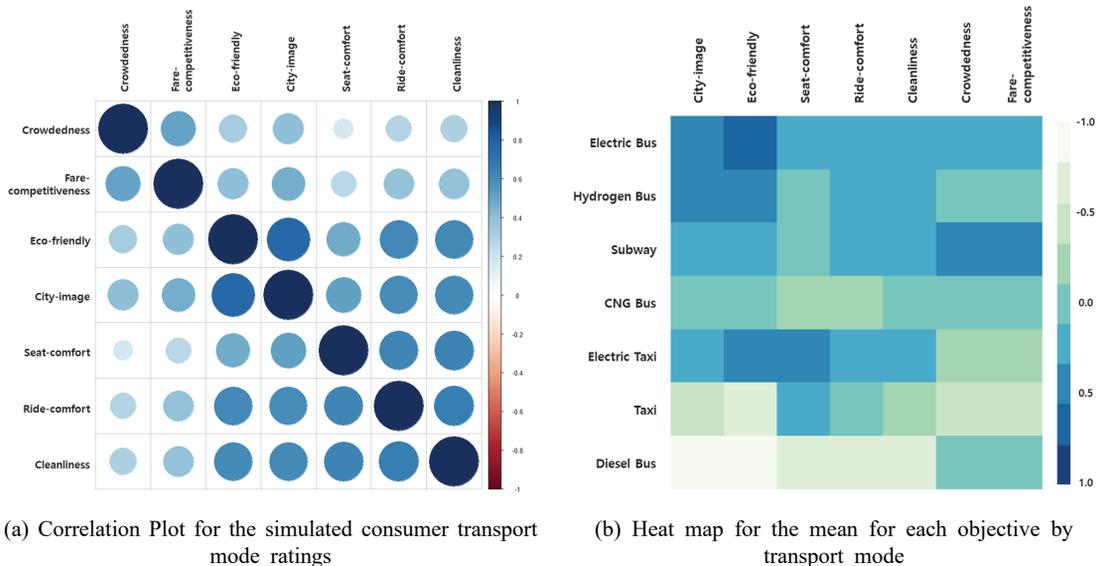
예로 p-차원의 벡터를 주요 구성 요소로 이루어진 q-차원 공간에 투영할 때 분산을 최대화 하는 주성분분석을 활용할 수 있다. 첫 번째 구성요소(component 1; PC1)는 투영되었을 시 가장 큰 분산을 가지는 공간방향

이며, 두 번째 구성요소(component 2; PC1)는 PC1과 직교하는 모든 방향들 중 분산을 최대화하는 방향을 향한다. 마찬가지로, k번째 구성요소는 이전 k-1 요소와 직교하는 모든 방향들 중 분산을 최대화하는 방향이며, 총 p개의 구성요소를 가진다. 일반적으로 구성요소 수를 선정하는 단계에서 권장되는 누적분산의 최소 비율은 80% 이상이다(Jolliffe, 2011).

본 연구는 친환경 대중교통(기존 대중교통 포함) 7가지 수단의 7가지 기술적·사회적 특성에 대한 이용승객들의 인지적 특성을 비교 분석하기 위해 진행되었으며, 고려되는 많은 수의 변수를 비교적 적은 수의 새로운 변인으로 줄여 직관적으로 파악하며 교통수단에 대한 소비자 인식을 공간적으로 분석하기 위해서는 주성분분석이 가장 적합한 방법론이라 판단하였다. 이에 R 프로그램의 주성분분석 prcomp function을 이용하여 설문자료를 분석하였다.

2. 대중교통 수단에 대한 인식 분석결과

본 연구의 목표는 친환경 대중교통 수단의 사회적·기술적 속성에 대한 소비자의 인지적 특성 차이를 확인하고 교통수단 별 운영전략을 제안함에 있다. 분석을 수행하기에 앞서 수집된 데이터(대중교통 수단의 속성에 대한 소비자들의 인식)의 특징을 Correlation plot과 Heat map을 통해 살펴보았으며 이를 통해 대중교통 수단과 각 속성의 관계를 대략적으로 파악할 수 있었다. 예를 들어, 친환경성과 도시이미지 속성 간에는 강한 양(+)의 상관관계가 존재하는 것을 확인할 수 있었으며(<Fig. 1-(a)> 참조), 경유버스의 경우 다른 교통수단에 비해 대부분의 속성에 대하여 평균값이 낮은 경향이 있다는 것을 확인할 수 있었다(<Fig. 1-(b)> 참조). 특히, 모든 변수의 상관관계가 양(+)의 관계인 것으로 미루어 보아 대중교통 수단들의 지각도(Perceptual map)를 도출하였을 시 요인들이 한 공간에 모여있을 것으로 예상할 수 있다.



<Fig. 1> Relationships among the variables and transport mode

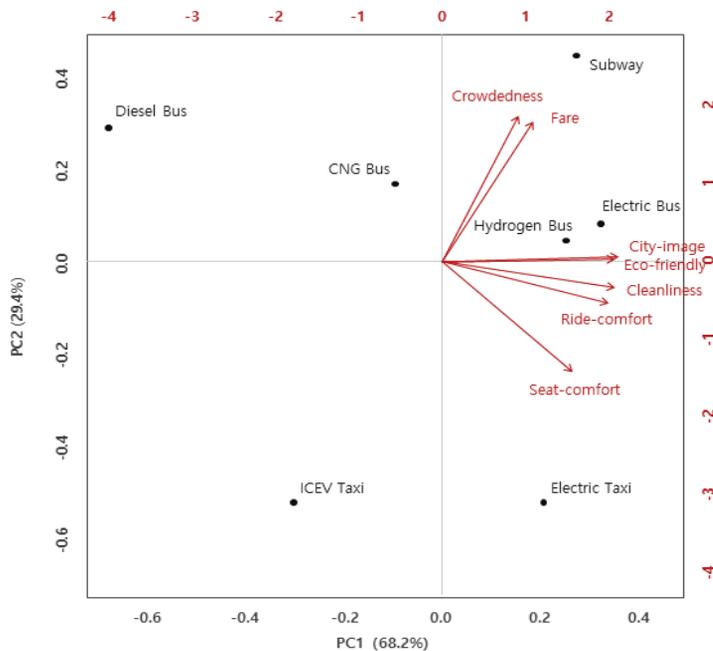
주성분분석 결과 처음의 두 구성요소 PC1과 PC2가 7가지 대중교통 수단에 대한 7가지 인지적 특성에 대해 평가된 모든 점수에 대한 분산의 97.4%를 차지하므로 2차원 상으로 표현된 결과값을 신뢰할 수 있음이

확인되었다 (<Table 5> 참조). 친환경 대중교통 수단에 대한 소비자의 지각도는 <Fig. 2>와 같이 나타나며, 원 데이터 분산의 68.2%가 첫 번째 주성분 축 PC1에 놓이게 되며, 29.4%가 두 번째 주성분 축 PC2로 설명된다.

<Table 5> Importance of components

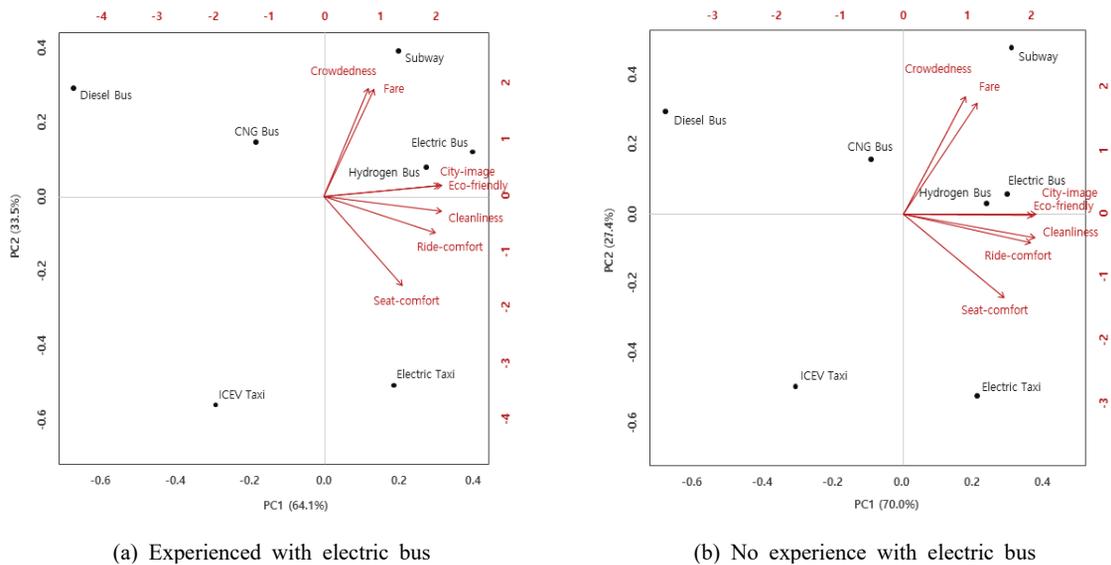
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Standard deviation	2.1845	1.4336	0.39990	0.08841	0.06627	0.02028	5.135e-05
Proportion of Variance	0.6817	0.2936	0.02285	0.00112	0.00063	0.00006	0.00e+00
Cumulative Proportion	0.6817	0.9754	0.99820	0.99931	0.99994	1.00000	1.00e+00

<Fig. 2>의 지각도에서 확인할 수 있듯 친환경 대중교통 수단인 전기버스와 수소버스가 한곳에 모여 있으며, 흩어져 있는 디젤버스, 지하철, 택시 등의 기존 교통수단과는 차별성을 보인다. 즉, 친환경 대중교통 수단에 대해서는 각 속성에 대해 서로 비슷하게 인식하고 있다고 해석할 수 있다. 특히, 친환경 대중교통 수단에 대한 친환경성, 도시이미지, 승차감, 차내 청결성을 높게 예상하여 친환경 대중교통 수단에 대한 긍정적 이미지가 형성돼 있음을 확인할 수 있었다. 지하철의 경우 다른 교통수단들에 비해 가격 경쟁력을 가지는 것으로 인식되고 있지만, 차내 혼잡도가 높아 부정적 이미지를 가질 수 있는 것으로 분석되었다. 전기 택시에 대한 소비자 인식의 경우에는 친환경 대중교통 수단과 기존 교통수단(경유버스, 내연기관 택시 등)의 중간 지점에 위치하고 있음이 확인되었다. 고려된 모든 요인에 대한 평가에서 전기 택시가 기존 택시보다 좋게 인식되고 있으나, 친환경 대중교통 수단보다는 차내 혼잡도와 좌석 편안함을 제외한 모든 분야에서 낮게 평가되는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 경유버스와 기존 택시의 경우 모든 항목에 대해 낮은 점수를 획득하였으며, 이는 해당 교통수단에 대한 인식이 상대적으로 좋지 않다는 것으로 해석할 수 있다.



<Fig. 2> Perceptual map of the public transportation modes

본 연구진은 친환경 대중교통 수단 이용 경험이 교통수단들에 대한 인지적 특성의 차이에 영향을 미치는지 파악하기 위해 전기버스 이용 경험 유무에 따른 2개 집단 간 인지적 특성 차이를 비교분석 하였다. 집단 간 대중교통 수단에 대한 인지적 특성은 <Fig. 3>과 같다. 2개 집단의 지각도에서 확인할 수 있듯이 대중교통 수단의 7가지 속성에 대한 소비자들의 인지적 특성은 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 하지만, 전기버스를 이용한 집단의 경우 친환경 대중교통 수단들에 대한 평가가 조금씩 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 전기버스를 이용해본 경험이 있는 집단의 경우 전기버스에 대한 도시 이미지 및 친환경성 요인에 대한 기대가 더 높아졌음을 확인할 수 있었다. 이는 전기버스 탑승 경험이 이용 승객들에게 실제로 긍정적인 이미지를 심어줄 수 있음을 뜻한다.



<Fig. 3> Perceptual map according to electric bus experience

V. 결 론

교통 분야에서 환경오염물 배출 문제가 대두됨에 따라 대중교통의 중요성이 점차 증가하고 있다. 특히, 배터리로부터 전기를 얻어 모터를 구동시키는 전기차 관련 기술이 발전함에 따라 대중교통 시스템도 전기화로 점진적으로 전환될 예정이다. 이에 본 연구는 친환경 대중교통수단의 확대에 대응한 서비스 전략 설계를 위해 친환경 대중교통(전기버스, 수소버스, 전기택시)과 기존 대중교통 수단(경유버스, CNG버스, 지하철, 택시)의 사회적·기술적 요인에 대한 소비자의 인지적 특성을 비교 분석하는 연구를 진행하였다. 대중교통 이용 경험이 있는 성인 485명을 대상으로 친환경 대중교통을 포함한 7가지 교통수단의 7개 요인(친환경성, 청결성, 혼잡성, 도시 이미지, 가격경쟁력, 좌석 편안함, 승차감)에 대한 평가를 실시하였으며, 수집된 데이터를 주성분분석을 통해 지각도로 표출 및 분석하였다.

첫 번째 분석인 요인별 평가분석의 경우 친환경 대중교통 수단(전기버스, 수소버스)의 각 요인에 대한 평가 결과는 유사한 것으로 조사되었으나 기존 대중교통 수단과는 큰 차이를 보이고 있다는 것을 알 수 있었

다. 세부적으로는 도시 이미지, 친환경성, 청결성, 승차감 등에서 친환경 대중교통 수단이 뛰어날 것이라는 인식을 가지고 있는 것으로 나타났다. 특히, 응답자들은 전기버스와 수소버스의 경우 운행도중 환경오염물질을 전혀 배출하지 않는 교통수단으로 이들 교통수단의 운행이 도시 이미지 개선에도 긍정적인 효과를 가져올 것이라 인식하고 있었다. 또한, 차세대 친환경 교통수단인 만큼 차내 청결성이 기존 교통수단들에 비해 뛰어나길 기대하고 있음이 분석을 통해 확인되었으므로 향후 친환경 대중교통수단 도입 시 친환경성, 도시 이미지 개선, 차내 청결성, 및 승차감 등에 대한 장점을 적극 홍보할 필요가 있다. 전기택시의 경우 좌석 편안함에서 우수할 것이라는 기대감을 가지고 있으나 전기버스와 수소버스에 비해 나머지 요인들에 대한 장점은 명확히 인지되고 있지 않음이 확인되었다. 이는 대중교통 수단인 버스와 비교하였을 시 개인용 택시에 대한 시민들의 부정적인 인식이 분석에 영향을 미쳤을 것이라 추정된다. 기존 교통수단인 지하철의 경우 요금 경쟁력이 다른 수단들에 비해 우수하다고 인식되었으나, 차내 혼잡도에서 다른 교통수단들보다 부정적으로 인식되고 있었다. 반면, 경유버스의 경우 모든 항목에서 다른 교통수단들에 비해 가장 뒤쳐진다는 인식을 가지고 있음이 확인되었다.

두 번째 분석으로 전기버스 경험 유무에 따른 집단 간 인식도 분석을 수행하였다. 그 결과 전기버스를 이용한 경험이 있는 집단에서 도시 이미지 상승과 친환경성 요인에 대한 평가가 상승하였음을 확인하였다. 즉, 친환경 대중교통 수단을 이용한 경험이 해당 교통수단에 대한 긍정적 인식 제고에 실질적 도움이 된다는 것이다. 이는 전기차를 이용한 소비자들에게서 전기차의 짧은 주행거리와 같은 단점들에 대한 인식이 개선된다는 기존의 연구결과와 유사한 것으로 볼 수 있다(Rauh et al., 2015).

본 연구결과를 통해 도출된 시사점은 다음과 같다. 첫째, 향후 도입이 확대될 친환경 교통수단에 대한 소비자의 인지적 특성을 기존에 운행되고 있는 대중교통수단들과 비교 분석함으로써 서비스 설계방향 도출 및 도입의 타당성을 확보할 수 있었다. 더 나아가 친환경 교통수단들의 이미지 포지셔닝(positioning)을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다. 둘째, 전기버스 이용 경험 유무에 따라 지각도 간 차이를 분석함으로써 친환경 대중교통 수단의 이미지 향상을 위해 시승행사 등의 차별화된 전략을 수립할 수 있다. 본 연구의 결과가 향후 친환경 대중교통 시스템이 도입되는 과정에서 소비자들의 서비스 향상과 교통수단 간 이미지 차별화 전략 설계를 위한 기초결과로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

REFERENCES

- Bak J. S., Kim S. Y. and Kim D. M.(2018), "A Study on the Economic Analysis of Introducing Battery-Based Eco Bus: Case Study of Daegu City," *South Korea, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 67, no. 3, pp.343-351.
- Choi D. R.(2016), "Cost-Benefit Analysis on Introducing Electric Buses in Gwangju: Focused Reducing Air Pollution,"
- Hotelling H.(1933), "Analysis of a complex of statistical variables into principal components," *Journal of Educational Psychology*, vol. 24, no. 6, p.417.
- Jeong J. R., Choi J. D., Shin C. W., Lee D. H., Lim W. S., Park Y. I. and Cha S. W.(2013), "Development of Integrated Control Logic of Wheel Motor Drive Electric Bus considering Stability and Driving Performance," *Transactions of KSAE*, vol. 21, no. 6, pp.40-48.
- Jolliffe I.(2011), *Principal component analysis*, Springer Berlin Heidelberg.

- Jung D. B., Min K. D., Jo Y. R. and Lim Y. S.(2011), “Study on Optimization of Generation System in Series HEV Bus,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 35, no. 8, pp.773-779.
- Kim J. G., Lee J. H. and Ko S. Y.(2015), “Optimization of Electric Transit Bus Recharging Stations in Jeju,” *J. Korean Urban Geog. Soc.*, vol. 18, no. 2, pp.97-109.
- Kim J. S., Jo W. R., Ji W. S., Kang C. K., Park K. C., Sung Y. J., Kim S. J., Jeong S. Y., Song S. H., Park J. Y., You K. S., Han J. H. and Kim S. H.(2018), “Electric Buses in Gyeonggi-Do: Technology,” *Business Model and Policy*, Gyeonggi Research Institute.
- Kim S. H.(2016), *Multivariate Data Analysis*, Bob-munsa.
- Ko J. H. and Shim J. S.(2011), *Strategies for Delivering Environmentally Friendly Buses in Seoul*, Seoul Development Institute.
- Korea Railroad Research Institute (2010), “A study on the GHG reduction in the railway sector in response to climate change”
- Kwon Y., Jang K. and Jang I. G.(2016), “Multidimensional Scaling Analysis of Inter-regional Public Transit Services: Focusing on Inter-regional Railways,” *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 19, no. 2, pp.243-250.
- Lee Y. K. and Myong K. J.(2011), “Assessment of Performance of Motor System for City Bus,” *The Korean Society of Mechanical Engineers-B*, vol. 35, no. 2, pp.189-196.
- Mahmoud M. and Hine J.(2013), “Using AHP to measure the perception gap between current and potential users of bus services,” *Transportation Planning and Technology*, vol. 36, no. 1, pp.4-23.
- Noor H. M. and Foo J.(2014), “Determinants of customer satisfaction of service quality: City bus service in Kota Kinabalu, Malaysia,” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, p.153, pp.595-605.
- Park J. K., Lee S. Y., Kim D. H., Jin Y. P., Park J. J. and Kim S. H.(2014), “Demonstration Results of Fuel Cell Buses of Hyundai Motor Company,” *Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, vol. 25, no. 3, pp.264-270.
- Pearson K.(1901), “LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space,” *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 2, no. 11, pp.559-572.
- Rauh N., Franke T. and Krems J. F.(2015), “Understanding the impact of electric vehicle driving experience on range anxiety,” *Human Factors*, vol. 57, no. 1, pp.177-187.