

재정투자사업의 쾌적성에 대한 사회적 가치 연구 : 광역버스의 차내 혼잡을 중심으로

Study on the Social Value of Public Transport Comfort in Financial Investment Projects

허은진* · 김성수**

* 주저자 및 교신저자 : 지방교육재정연구원 재정투자사업팀 연구원

** 공저자 : 서울대학교 환경대학원 명예교수

Heo Eun Jin* · Kim Sung Soo**

* Korea Institute for Local Educational Finance

** Seoul National University

† Corresponding author : Eun Jin Heo, katherineho@gmail.com

Vol. 22 No.1(2023)
February, 2023
pp.52~64

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.1.52>

Received 18 January 2023
Revised 31 January 2023
Accepted 31 January 2023

© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

차내 혼잡은 대중교통 이용자들의 통행의 질과 관련된 주제라고 할 수 있다. 차량의 제한된 용량과 배차간격 등의 이유로 주로 이용수요가 많은 교통수단 및 운영노선에서 차내 혼잡이 발생되며 이는 실제로 이용자들이 경험하는 통행시간의 가치에 차이를 유발시킨다. 본 연구에서는 오후 침두시 분석노선 광역버스를 이용하는 개별 통행자의 스마트카드 자료 정보를 기반으로 차내 혼잡에 따른 개별 통행자의 시간가치를 추정하였다. 특히, 차내 혼잡이 개별 통행자가 느끼는 시간가치에 미치는 영향의 크기와 그 형태에 대해서 정교하게 분석하기 위해 Box-Cox transformation로 변환한 변수를 포함하여 모형을 구축하였다. 추정 결과에서 도출된 혼잡승수를 이용하여 2층 버스 도입 시 차내 혼잡 감소에 따른 편익을 산정하였으며 이를 통해 본 연구에서 제시하고 있는 추정 결과의 유의미성과 적용방안에 대해 논의하였다.

핵심어 : 쾌적성, 사회적 가치, 차내 혼잡 비용, 교통카드 자료, 대중교통

ABSTRACT

This paper concentrated on estimating the travel time value of individual regional bus passengers in various in-vehicle crowding conditions. In the analysis model, the traffic-selection data of individual transportation passengers based on smart-card data were used. Variables which reflect the level of in-vehicle crowding and the variables of in-vehicle travel time that reflect the level of in-vehicle crowding were included in the model using Box-Cox transformation. The result of this paper indicates that the travel time value experienced by individual users would increase as the in-vehicle crowding level increases. The smart card data used in this paper is considered to have significant implications in terms of conducting more sophisticated and realistic qualitative research to reflect the values of variables for in-vehicle traffic hours and in-vehicle crowding levels, which previously had limitations in observation and quantification. It is expected that the effects of improvement measures for reducing congestion on regional buses can be considered quantitatively by applying the estimation results of crowding multiplier.

Key words : Comfort, Social Value, In-vehicle Crowding Cost, Smart Card Data, Public Transport

I. 서론

지방재정투자사업에서 쾌적성은 교통, 문화, 체육시설 등 다양한 부문에서 고려되어야 하는 항목이며, 중요성에 대해서는 논란의 여지가 없지만 정량화(화폐가치화)가 쉽지 않기 때문에 현재 국내에서는 고려되지 못하고 있다. 하지만, 일부 국가에서는 쾌적성의 중요성을 인지하고 실제 지침 및 정책 결정 시 반영하고 있으며 국내에서도 쾌적성과 관련된 실증적인 연구가 필요한 시점이라 할 수 있다. 이미 국내에서는 교통시설 사업 시행 시 고려할 수 있는 편익항목으로 계량화 가능한 가치 외에도 교통의 쾌적성, 통행시간 신뢰성, 안정성 등을 포함하여 제시하고 있다. 그러나 해당 항목에 대한 효과는 개인의 선호와 만족도에 영향을 받기 때문에 정량화 및 추정 방법에 한계가 존재하게 된다.

차내 혼잡은 대중교통 이용자들의 통행의 질과 관련된 주제라고 할 수 있다. 차량의 제한된 용량과 배차 간격 등의 이유로 주로 이용수요가 많은 교통수단 및 운영노선에서 차내 혼잡이 발생되며 이는 실제로 이용자들이 경험하는 통행시간에 차이를 유발시킨다. 즉, 동일한 조건(교통수단, 출발지, 목적지, 통행시간, 통행비용 등)의 통행을 선택했음에도 불구하고 앉아서 가는 이용자, 서서가는 이용자, 앉아서 가지만 서서가는 이용자 등의 영향을 받는 이용자 등 통행의 형태가 다양하게 나타난다.

기존의 차내 혼잡과 관련된 선행연구들은 대부분 진술선호(SP) 자료를 이용하였으며 주로 철도와 지하철의 차내 혼잡도에 따른 시간가치를 추정하였다. 진술선호(SP) 조사 자료는 분석 초기 단계에서부터 연구자가 합리적인 방법으로 설계할 수 있어 다양한 분석이 가능하다는 장점이 있지만 가상의 상황에 대한 선호를 조사한 결과를 바탕으로 분석하기 때문에 분석 결과가 과대 추정되거나 실제 통행자의 이용행태와는 다른 결과가 도출될 수도 있다. 점차 대중교통 이용 시 교통카드를 이용하는 국가 및 지역이 증가하면서 교통카드 자료를 기반으로 한 연구가 가능해지기 시작하였으나, 국내에 광역버스 이용자의 차내 혼잡에 따른 시간가치를 추정한 실증적인 연구는 전무한 실정이다. 또한, 다수의 연구에서 차내 혼잡도와 시간가치의 관계를 선형으로 설정하고 있으며 이에 대한 명확한 이유나 근거를 제시하고 있지는 않다.

본 연구에서는 다양한 시설 중 대중교통(광역버스)의 쾌적성을 차내 혼잡도의 측면에서 접근하였다. 차내 혼잡도는 제한된 용량하에 이용수요에 따라 달라지며, 혼잡도에 따라 쾌적성, 안전성 등의 사회적 비용을 유발시킨다. 이에 오후 첨두시의 분석대상 광역버스를 이용하는 개별 통행자의 스마트카드 자료 정보를 기반으로 차내 혼잡에 따른 개별 통행자의 시간가치를 추정하였다. 특히, 차내 혼잡이 개별 통행자가 느끼는 시간가치에 미치는 영향의 크기와 그 형태에 대해서 정교하게 분석하기 위해 모형 구축 시 Box-Cox transformation로 변환한 변수를 포함하였다. 현시선호(RP) 조사 자료를 이용하여 구축한 본 연구의 모형 추정 결과가 갖는 유의미성과 적용방안에 대해 논의하고 한계점 및 향후 연구과제를 제시하였다.

II. 선행연구 고찰

차내 혼잡에 따른 시간가치 추정에 관한 선행연구들을 고찰하여 차내 혼잡과 관련된 연구의 동향, 연구방법론, 연구의 한계 등을 파악하여 차별화된 연구 방향을 설정하고 이론적 근거를 확립하였다. 특히, 대부분의 선행연구에서 차내 혼잡을 반영하지 않았을 때 시간가치 대비 차내 혼잡을 반영하였을 때 시간가치의 비를 혼잡승수(Congestion Multiplier)로 정의하여 추정 결과를 제시하고 있어 수치적 비교 검토가 가능하였다. 이 외에도 대중교통 서비스 향상 및 재정지원과 관련된 정책 및 연구들을 살펴보았다.

첫째, 현시선호(RP) 조사 자료를 이용한 차내 혼잡에 따른 시간가치에 관한 대표적인 선행연구는 다음과

같다. Yab et al.(2018)는 네덜란드 헤이그의 트램과 버스를 이용하는 개별 통행자의 자동요금수집(AFC), 자동 차량위치(AVL), 자동승객집계(APC) 등의 현시선호(RP) 자료를 이용하여 차내 혼잡에 따른 시간가치를 추정하였다. 오전 첨두 2시간 동안의 32개 OD쌍에 대해 개별 통행자의 차내 통행시간, 대기시간, 환승시간, 환승 횟수, 가능한 경로의 수, 좌석점유율과 입석밀도에 대한 자료를 구축하였다. 혼잡에 대한 포함과 불포함, 이용자의 형태에 대해 자주 통행하는 사람과 드물게 통행하는 사람으로 구분하여 4가지 유형에 따라 각각 모형을 설정하였다. 추정 결과, 개별 통행자의 이용수단 및 노선에 대한 인지수준에 따라 혼잡승수가 달라질 수 있음을 시사하고 있다. Tirachini et al.(2013)는 싱가포르의 메트로 이용객을 대상으로 현시선호(RP) 자료를 이용하여 착석과 입석에 대한 가치를 평가하였다. 좌석을 확보하기 위해 역방향으로 이동하는 이용객에 대해 추가적으로 소요되는 통행시간과 좌석을 확보함으로써 얻게 되는 편의성을 비교하였다. 동일한 목적지에 대해 실제 역 간 통행시간을 제외한 대기시간의 분포가 크게 두 그룹으로 나타나는 것을 통해 역방향 통행으로 간주하여 분석하였다. 추정 결과, 개별 통행자의 차내 통행시간 동안 영향을 미치는 요인이 존재할 것으로 예상할 수 있다. 연구 결과를 통해 용량증대 사업, 요금정책 등과 같은 대중교통 정책 결정 시 차내 혼잡이 고려되어야 함을 강조하였다.

둘째, 진술선호(SP) 조사 자료를 이용한 차내 혼잡에 따른 시간가치에 관한 대표적인 선행연구는 다음과 같다. Márquez et al.(2019)는 콜롬비아 보고타의 BRT와 지하철을 대상으로 차내 혼잡에 관한 연구를 수행하였다. 혼잡과 관련하여 인지된 불안감, 불편감, 혼잡에 대한 긍정적 태도를 반영하였으며 혼잡에 대한 긍정적 태도를 판단할 수 있는 지표로 엘리베이터 안, 공공장소 등에서 혼잡에 대한 선호를 조사하였다. 추정 결과 입석밀도가 증가함에 따라 혼잡승수는 1에서 1.22~1.35의 값으로 증가하게 된다. Björklund and Swärdh(2017)는 스웨덴 세 도시의 대중교통 이용객을 대상으로 좌석확보와 차내 혼잡 감소에 대한 정책적 가치를 추정하였다. 추정 결과, 버스, 메트로, 통근기차, 트램 등 교통수단에 따라 상이하게 나타났으며 철도 내에서도 각 수단별 유형 특성의 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, 도시별 지불용의액을 분류하여 분석한 결과 차내 혼잡비용은 도시의 특성보다는 이용수단에 따라 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. Varghese and Adhvaryua(2016)는 인도의 버스를 대상으로 차내 혼잡에 따른 시간가치를 추정하였다. 인도의 대중교통의 차내 혼잡수준은 기타 다른 국가 및 지역의 차내 혼잡수준보다 상대적으로 높기 때문에 높기 때문에 이를 고려하여 혼잡단계를 4개로 구분한 입석밀도를 적용하였다. 추정 결과, 노선별 혼잡승수는 상이하였으나 최대 1.60으로 나타났다. 이를 통해 차내 혼잡에 따라 발생하는 외부비용에 대한 정부의 보조금과 투자 등의 도입 시 추정 결과가 활용될 수 있다고 판단하였다. Batarce et al.(2015)는 칠레의 버스와 메트로를 대상으로 차내 혼잡에 따른 시간가치를 추정하였다. 차내 혼잡수준을 반영하는 혼잡 지표로 입석밀도를 총 6개 구간으로 분류하여 적용하였다. 추정 결과, 입석밀도 수준에 따라 혼잡승수는 최대 2.51로 나타났다. 차내 혼잡수준의 감소를 위한 버스 노선의 증가는 수요를 증가시킨다는 측면에서 도로의 혼잡과 유사하다고 판단하고 있다. 따라서 이용자 측면에서의 차내 혼잡 개선을 측정할 수 있는 다양한 연구가 필요할 것으로 제안하고 있다.

이 외에도, 대중교통 서비스 향상 및 재정지원과 관련된 정책 및 연구들은 다음과 같다. Korea Transport Institue(2021)은 2019년 10월 4주차 평일 5일 자료를 이용하여 노선별 시간대별 수요·공급 분석, 노선별 시간대별 필요 운행횟수 산정, 운행전략 대안별 필요 운행대수 산정, 운행전략 대안별 총비용 순으로 효과분석을 수행하였다. 준공영제에 따른 재정지원 증가는 광역버스 준공영제 제도의 지속가능성을 위협하는 가장 큰 요인이라 판단하고 있으며 광역버스 운영 효율화 정책을 활용하여 국가재정 절감을 위한 노력의 필요성을 제안하였다. Gyeonggi-do(2019)는 경기도 31개 시·군 및 수도권 전역의 직행좌석형 시내버스(광역버스)와 일반형 시내버스 및 시외버스를 대상으로 운영현황을 검토하여 분석하였다. 준공영제 도입 시 재정지원 고려

사항은 운송원가 산정, 재정지원 투명성 확보, 이윤보장 등이 포함되며, 이는 표준운송원가 산정 방식과 서비스 평가에 영향을 받게 된다. 즉, 재정지원을 위해서는 효과에 대한 정량적인 평가가 필수적임을 알 수 있다. 이에 국내의 이행표준 사례를 검토하였으며 싱가포르와 부천시의 이행표준 항목과 기준을 기반으로 경기도 이행표준항목을 마련하였다. 경기도 광역버스는 현행법상 입석이 금지되어있고 안전성을 보장하는 가장 중요한 척도로 판단하여 쾌적성을 반영하기 위한 항목으로 입석률을 포함하였다.

차내 혼잡과 관련된 선행연구 및 정책들을 검토한 결과, 차내 혼잡의 증가는 개별 통행자가 실제로 느끼는 시간가치에 차이를 발생시킨다. 혼잡이 증가할수록 체감하는 시간가치의 크기는 증가하게 되며 이용수단에 따라 착석일 때와 입석일 때 큰 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 혼잡 수준에 따른 혼잡승수를 산정함으로써 혼잡이 반영되지 않았을 때의 시간가치 대비 증가된 시간가치의 크기를 수치화하였다. 기존 연구들에서는 지역 간 또는 도시 내 교통수단을 주로 분석대상으로 삼고 있으며 특히 혼잡을 입석이 발생한 이후 시점으로 설정하고 혼잡지표는 입석을 설명할 수 있는 입석밀도를 사용하였다. 또한, 차내 혼잡과 시간가치와의 관계 설정 시 거의 대부분의 연구에서 선형관계로 분석하였다. 본 연구에서는 착석을 전제로 하며 입석공간이 좁고, 침두시의 이용수요가 많아 입석승객이 발생하게 되는 광역버스를 대상으로 차내 혼잡에 따른 시간가치를 추정하였다. 특히, 차내 혼잡에 따른 시간가치의 관계가 비선형일 수 있다는 점을 고려하였다.

Ⅲ. 연구방법론

1. 차내 혼잡의 정의

수도권 광역버스는 착석을 전제로 한 대중교통수단이며, 수도권의 도시 간 통행을 담당하고 있어 시내버스나 지하철에 비해 개별 통행자의 평균 통행시간이 상대적으로 길다. 따라서 개별 통행자에게 착석 가능성과 입석 여부는 매우 중요하게 작용하게 된다. 차내 혼잡도는 기본적으로 재차인원을 기반으로 산정할 수 있다. 차량의 총 좌석 수보다 재차인원이 적은 경우, 개별 통행자에게는 좌석을 확보할 수 있는 기회가 주어진다. 반면에 만석이 되어 입석을 해야 하는 경우, 입석 상태인 개별 통행자는 입석 승객 수 즉, 입석 승객들 간에 발생하는 차내 혼잡의 영향을 받게 된다. 특히, 광역버스의 차량 내부구조 특성 상 입석가용면적이 적고 입석 승객이 좌석과 좌석 사이 통로에 일렬형태로 배치되기 때문에 일정 면적당 입석 승객 수보다는 입석 승객 간 간격이 더 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 차내 혼잡의 범위를 재차인원이 발생하는 시점부터 적용하였으며 이를 반영할 수 있는 총 좌석 수 대비 재차인원의 비인 탑승률을 혼잡 지표로 설정하였다.

2. 분석자료의 구축

본 연구에서는 광역버스를 이용하는 개별 통행자가 좌석의 확보 가능성, 쾌적성(낮은 혼잡 수준) 등을 고려한 선택한 통행 행태를 스마트카드 자료를 이용하여 파악할 수 있을 것으로 판단하였다. 즉, 최종목적지와 동일한 방향의 정류장에서 승차할 수 있음에도 불구하고 차내 혼잡수준을 미리 예상하여 반대방향에 위치한 정류장에서 승차하는 개별 통행자가 발생하게 된다. 단, 맞은편 방향의 정류장의 위치가 모호한 경우에 대해서는 개별 통행자의 승차정류장 선택에 대해 차내 혼잡의 영향으로 간주하기에는 무리가 있다. 따라서 수도권 광역버스 노선 중 이용수요가 높아 입석 승객이 많이 발생하며 양방향의 정류장 위치가 최대한 대칭 형태인 1500번을 분석노선으로 선정하였다.

스마트카드 자료는 대중교통을 이용하는 개별 통행자의 통행요금 징수 시 수집되는 정보들을 기반으로 구축된 자료이다. 대중교통 이용자의 95% 이상이 이용하기 때문에 신뢰도가 매우 높은 모집단에 근접한 자료라 할 수 있다. 특히, 광역버스를 이용하는 개별 통행자들은 승·하차 시에 차량 내에서 태그를 찍게 된다. 따라서 승차시간과 하차시간의 차이가 차내 통행시간을 의미하기 때문에 지하철 이용자의 차내 통행시간보다 상대적으로 정확도가 높다고 할 수 있다. 본 연구를 위해 2017년 12월 11일~12월 17일, 일주일간 분석대상 노선을 이용한 총 42,810개의 개별 통행자 자료를 수집 및 구축하였다.

개별 통행자의 승차시간과 하차시간, 승차정류장과 하차정류장 정보를 기반으로 시공간적 통행패턴을 추출할 수 있다. 버스노선은 일반적으로 하차정류장보다 승차정류장의 순서가 앞서게 된다. 그러나 최종목적지가 회차지점 이후임에도 불구하고 회차지점 이전의 정류장에서 승차를 하는 통행패턴이 나타나게 된다. 회차지점 이후에 승차할 수 있는 동일한 정류장이 존재함에도 불구하고 맞은편 정류장에서 먼저 승차함으로써 차내 통행시간이 길어지는 불편을 감수하는 개별 통행자가 발생하고 있음을 알 수 있다.

분석노선의 동일한 출발지와 목적지를 갖는 개별 통행자는 승차정류장에 따라 정방향 통행과 역방향 통행으로 분류될 수 있다. 선정된 분석 OD의 64.8%가 정방향 통행을 선택하고 있으며 35.2%는 역방향 통행을 선택하였다. 역방향 통행을 선택하게 되면 재차인원이 총 좌석 수에 미치지 못하기 때문에 무조건 앉아서 가게 된다. 반대로 정방향 통행을 선택한 개별 통행자의 경우 64.1%는 앉아서 가게 되지만 나머지 35.9%는 서서하게 된다. 이 중, 분석 OD쌍은 정방향과 역방향 개별 통행자가 발생하는 전체 OD쌍 중 선택 쌍이 최소 1개 이상 매칭이 가능하며, 최소 50개 이상의 승하차가 발생하는 정류장을 선택하였다. 특히, 역방향 개별 통행자가 발생하는 승차정류장 이후에는 탑승률이 1.5배를 넘는 수준까지 도달하여 하차정류장까지 통행이 이루어진다. 따라서, 분석OD쌍의 경우 서서가다 앉아서 가게 되는 상황이 발생하기 어렵다. 또한, 역방향 통행을 선택한 개별 통행자의 경우 승차시간대에 승차정류장에 따라 차내 혼잡수준이 다르다는 것을 이미 알고 있기 때문에 발생하는 결과이다. 즉, 통행선택시 차내 혼잡을 고려한 개별 통행자의 경우 해당 통행경로를 자주 이용하거나, 적어도 혼잡상황에 대한 인지가 있는 상태라고 판단할 수 있다. 차내 혼잡수준은 개별 차량에 따라 상이하지만 개별 통행자가 차량단위의 차내 혼잡수준의 차이를 고려하여 통행선택을 하는 것은 현실적으로 불가능하며, 실제로도 탑승률은 차량 단위보다 승차시간대의 영향을 많이 받는 것으로 분석되었다.

앞서 선정된 분석 OD 즉, 실제 발생하고 있는 정방향과 역방향 통행이 분석 OD쌍의 선택대안이라 할 수 있으며 이 때 맞은편 정류장에서 탑승하는 경우가 비선택대안으로 작용한다. 선택대안과 비선택대안의 차량별 매칭 후 각 대안에 대해 차내 통행시간과 차내 혼잡수준을 산정하여 적용하였다.

3. 모형의 설정

본 연구의 분석대상 노선을 이용하는 개별 통행자의 실제 통행선택은 정방향 통행과 역방향 통행으로 나타난다. 이를 기반으로 선택대안과 비선택대안에 대해 각 대안의 차내 통행시간과 차내 혼잡수준을 변수로 구성하여 효용함수를 구축할 수 있다. 효용함수는 선택대안 내에서 가장 큰 효용을 얻을 수 있는 하나의 대안을 선택하는 영향을 미치는 요인에 대해 분석할 때 주로 쓰이며, 본 연구에서는 이항로짓모형을 활용하였다. 변수 설정 시 광역버스의 수단특성을 고려하였으며 주요 반영사항은 다음과 같다.

첫째, 광역버스 개별 통행자의 좌석 확보에 대한 중요성과 필요성, 입석 통행 시 입석여부 자체가 발생시키는 비효율을 고려하여 입석여부 더미를 별도의 차내 혼잡변수로 설정하였다. 둘째, 입석여부가 결정되는 순간의 차내 혼잡수준은 매우 중요한 요소로 작용하게 된다. 광역버스의 이용자는 대부분이 장거리 통행을 하며, 입석가능면적이 작기 때문에 착석 통행과 입석 통행 자체가 갖는 의미가 크며, 탑승률이 1이 되는 지

점 전·후의 개별 통행자가 체감하는 차내 혼잡의 의미는 달라질 수 있다고 판단하였다. 따라서 탑승률이 1 이하일 때와 1 초과일 때의 혼잡변수를 별도로 분리하여 구성하였다. 단, 탑승률이 1을 초과할 때의 혼잡변수는 입석여부 더미를 제외하여 설정하였기 때문에 이는 입석밀도의 의미가 동시에 반영된 것으로 간주할 수 있다. 셋째, 차내 혼잡수준에 따른 차내 시간가치의 관계에 대해 비선형일 수 있다는 점을 고려하였으며, Box-Cox transformation을 이용하여 변환한 탑승률을 독립변수로 포함시켰다.

본 연구의 목적은 광역버스를 이용하는 개별 통행자의 통행선택에 차내 혼잡수준이 얼마나, 어떤 형태의 영향을 미치는 지에 대해 파악하는 것이다. 개별 통행자의 차내 혼잡에 따른 시간가치의 효용함수는 차내 통행시간, 차내 혼잡변수인 탑승률과 입석여부 더미로 구성되며 아래식(1)과 같다.

모형의 설정 시, 개별 통행자가 체감하는 차내 혼잡수준에 대해 탑승률이 1이 되는 지점 즉, 총 좌석 수와 재차인원이 동일해지면서 만석이 되는 시점을 기준으로 차내 혼잡변수를 설정하였다. 탑승률이 1이하일 때의 차내 혼잡변수는 LF_i^0 로 개별 통행자가 좌석을 확보할 수 있는 상황이기 때문에 착석통행으로 간주할 수 있다. 탑승률이 1초과일 때의 차내 혼잡변수는 $(LF_i^1 - 1)$ 로 만석 이후에 탑승한 승객은 입석통행을 하게 된다. 또한, 착석이 가능한 상태에서 불가능한 상태로 전환되는 지점에서 입석자체가 발생시키는 비효율을 반영하기 위해 입석여부 더미인 D_i 값이 1로 추가되게 된다. 착석통행과 입석통행의 차내 혼잡이 갖는 특성이 상이할 것으로 판단하여 탑승률 1을 기준으로 차내 혼잡변수를 LF_i^0 와 $(LF_i^1 - 1)$ 로 각각 분리하였다. 또한, 차내 혼잡수준에 따른 차내 시간가치의 변화 형태에 대한 최적의 모형을 선정하기 위해 차내 혼잡변수에 대해서는 Box-Cox transformation으로 변환하여 적용하였다.

$$U_i = \alpha_i + \beta_1 * T_i + (\beta_2 * (LF_i^0)^{\lambda_1} + \beta_3 * (LF_i^1 - 1)^{\lambda_2} + \beta_4 * D_i) * T_i \dots\dots\dots (1)$$

- U_i : Utility function of in-vehicle travel time with congestion
- T_i : In-vehicle travel time
- LF_i^0 : Load Factor when Number of seats \geq number of passengers
- LF_i^1 : Load Factor when Number of seats $<$ number of passengers
- D_i : Dummy for standing

4. 모형의 추정방법

차내 혼잡수준을 반영한 변수인 LF_i^0 와 $LF_i^1 - 1$ 에 대해 λ 값을 각각 λ_1 과 λ_2 값으로 분리하여 설정하였다. 단, Box-Cox transformation를 이용한 자료의 변환 시 독립변수는 0보다 큰 값을 가져야 하며, 주어진 λ 값 하에서 Log Likelihood를 극대화할 수 있는 λ 값은 일반적으로 (-2, 2)의 구간에서 가장 신뢰할 만한 값을 가지게 된다. 이에 λ_1 과 λ_2 은 0이상에서 2이하로 제한하되 각각 0.1 단위를 기준으로 추정하였다. 각각의 λ 에 따른 추정모형의 적합도는 모형별로 다르게 나타났다. 본 연구에서는 설정된 λ 값에 따라 모형별로 추정한 후, 추정 결과에 대해 우도비 검정을 통해 우도비가 가장 높은 값을 갖는 모형을 최적모형으로 선정하였다.

최적모형을 선정한 후, 추정된 계수값들을 통해 혼잡승수(CM; Congestion Multiplier)를 산정할 수 있다. 본 연구에서 혼잡승수란 차내 혼잡이 반영되지 않은 기존의 차내 통행시간과 차내 혼잡이 반영된 차내 통행시간을 구성하는 계수 값의 비를 통해 산정할 수 있다. 광역버스의 개별 통행자에게 좌석의 확보는 장거리 통행, 협소한 입석가용면적 등의 이유로 매우 중요하게 작용한다. 좌석의 확보가 가능할 때의 개별 통행자가 느끼는 차내 혼잡수준이 동일한 것은 아니며, 재차인원의 증가에 따른 차내 혼잡의 영향이 존재한다고 판단

하였다. 따라서 차내 혼잡을 반영한 차내 통행시간의 경우 탑승률이 1인 지점을 기준으로 전·후로 구분할 수 있으며 이때의 시간가치는 달라진다. 따라서 탑승률이 1 이하일 때의 시간가치는 $\beta_1 + \beta_2 * (LF_i^0)^{\lambda_1} + \beta_4 * D_i$ 이며 혼잡승수는 식(2)와 같이 산정한다. 단, 입석여부를 반영하는 변수는 더미처리를 하였기 때문에 실제로 탑승률이 1이하일 때의 혼잡승수 산정에 영향을 미치지 않게 된다. 탑승률이 1 초과일 때의 시간가치는 $\beta_1 + \beta_3 * (LF_i^1 - 1)^{\lambda_2} + \beta_4 * D_i$ 이며 혼잡승수는 식(3)과 같이 산정한다.

$$\text{Loadfactor} \leq 1 \text{ CM}_0 = \frac{\beta_1 + \beta_2 * (LF_i^0)^{\lambda_1} + \beta_4 * D_i}{\beta_1} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Loadfactor} > 1 \text{ CM}_1 = \frac{\beta_1 + \beta_3 * (LF_i^1 - 1)^{\lambda_2} + \beta_4 * D_i}{\beta_1} \dots\dots\dots (3)$$

IV. 추정 결과 및 적용방안

1. λ 값에 따른 모형의 적합도

모형의 적합도를 판단하기 위해 LF^0 의 λ_1 값과 $(LF^1 - 1)$ 의 λ_2 값에 대해 0에서 2까지 구간을 설정하여 모형별 우도비(ρ^2)를 검토하였다. LF^0 의 λ_1 값은 0에 가까울수록, $(LF^1 - 1)$ 의 λ_2 값은 모든 LF^0 의 λ_1 값에 대해 0.5가 될 때 가장 높게 추정되었다. 각 모형별 추정계수의 부호, P값, t통계량을 검토하였으며, 모형식의 Log likelihood와 우도비(ρ^2)을 통해 모형의 적합성을 검증하였다. 설명변수들의 부호가 음(-)의 부호로 직관적인 상식과 일치하였으며 각 변수들은 통계적 유의성을 확보하는 것으로 나타났다.

<Table 1> ρ^2 of each all models according to λ_1 and λ_2

		λ_2				average
		0	0.5	1	1.5	
λ_1	0	0.163	0.164	0.161	0.150	0.160
	0.5	0.161	0.162	0.159	0.148	0.158
	1	0.160	0.161	0.158	0.147	0.156
	2	0.159	0.160	0.157	0.146	0.155
average		0.161	0.162	0.159	0.148	0.157

2. λ 값에 따른 모형의 추정 결과

모형별 우도비(ρ^2) 추정 결과 LF^0 의 $\lambda_1=0$, $(LF^1 - 1)$ 의 $\lambda_2=0.5$ 일 때를 최적모형으로 선정하였으며 식(4)와 같다.

$$U_i = \alpha_i + \beta_1 * T_i + (\beta_2 * \ln(LF_i^0) + \beta_3 * \sqrt{(LF_i^1 - 1)} + \beta_4 * D_i) * T_i \dots\dots\dots (4)$$

U_i : Utility function of in-vehicle travel time with congestion
 T_i : In-vehicle travel time

- LF_i^0 : Load Factor when Number of seats \geq number of passengers
- LF_i^1 : Load Factor when Number of seats $<$ number of passengers
- D_i : Dummy for standing

차내 통행시간의 변수인 β_1 의 추정값은 -0.34로 나머지 변수들의 추정값인 -0.13, -0.11, -0.10보다 큰 값을 가지게 된다. 이는 개별 통행자가 통행 선택 시 차내 통행시간 자체가 미치는 영향이 가장 크다는 점이 반영되었다고 예상할 수 있다. 탑승률이 1 이하일 때인 β_2 보다 2.64배, 탑승률이 1 초과일 때인 β_3 보다 1.59배 정도 수준으로 나타났다. 입석승객들간의 차내 혼잡수준을 반영한 변수인 β_3 와 입석여부를 반영한 변수인 β_4 의 함은 좌석을 확보한 착석 상태의 승객들의 차내 혼잡 수준을 반영한 변수인 β_2 의 1.66배 높게 추정되었다. 또한 β_3 와 β_4 의 각각의 추정값은 -0.11과 -0.10으로 유사한 수준으로 혼잡한 상태에서의 통행시간의 길이가 반영되지 않았기 때문일 것으로 예상된다.

<Table 2> Estimation results

constant	In-vehicle travel time	Loadfactor ≤ 1	Loadfactor > 1	Dummy for standing
α	β_1	β_2	β_3	β_4
-4.095***	-0.341***	-0.129***	-0.114***	-0.100***
(-5.056)	(-6.593)	(-4.676)	(-5.199)	(-4.748)
Final Log Likelihood : -227.674				
Adjusted Rho-square(ρ^2) : 0.164				

*** p < .01, ** p < .05, * p < .1

3. 혼잡승수 산정

본 연구에서의 혼잡승수란 차내 혼잡수준이 반영되지 않았을 때의 개별 통행자의 통행시간에 대한 효용과 차내 혼잡수준이 반영된 통행시간의 효용의 비이다. 최적모형을 통해 추정된 설명변수들을 이용하여 혼잡승수를 산정할 수 있다. 본 연구에서는 개별 통행자가 착석이 가능한 상태에서 불가능한 상태로 전환되는 지점을 기준으로 탑승률이 1 이하일 때와 탑승률이 1 초과일 때로 변수를 구분하여 설정하였으며 이 때 각각의 혼잡승수를 산정할 수 있다. 최적모형의 탑승률에 따른 혼잡승수는 식(5)와 식(6)와 같다.

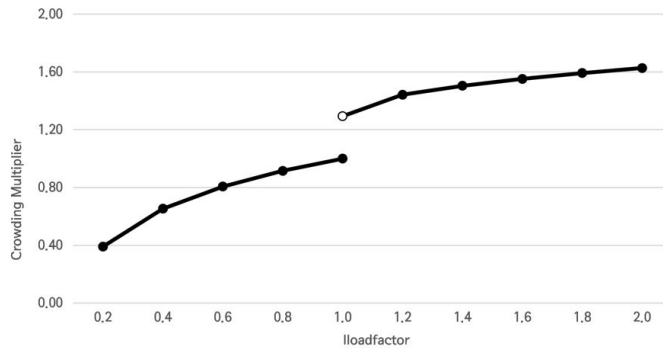
$$\text{Loadfactor} \leq 1, CM_0 = \frac{\beta_1 + \beta_2 * \ln(LF_i^0) + \beta_4 * D_i}{\beta_1} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Loadfactor} > 1, CM_1 = \frac{\beta_1 + \beta_3 * \sqrt{(LF_i^1 - 1)} + \beta_4 * D_i}{\beta_1} \dots\dots\dots (6)$$

혼잡승수의 산정 결과, 탑승률이 증가함에 따라 혼잡승수도 증가하게 된다. 탑승률이 1 이하일 때와 1 초과일 때의 차내 혼잡증가에 따른 혼잡승수의 증가형태는 상이하게 나타났다. 특히, 탑승률 증가에 따라 혼잡승수가 비선형의 형태로 증가하며 이는 광역버스의 특성이 반영된 것으로 판단할 수 있다.

탑승률이 1 이하일 때 탑승률 증가에 따라 혼잡승수는 증가하지만, 그 증가분은 만석이 되기 전까지 점점 줄어든다. 좌석 확보가 가능함에도 불구하고 탑승률의 증가에 따라 혼잡승수가 증가하는 이유는 개별 통행

자의 선호 좌석에 대한 선택 가능성, 혼자 앉게 되었을 때는 쾌적성 등이 반영되었다고 할 수 있다. 또한 혼잡승수가 증가하나 그 증가분이 감소하는 이유는 만석에 가까워지면서 좌석의 확보 자체는 가능하지만, 개별 통행자에게 주어지는 선호 좌석에 대한 선택 가능성이 줄어들기 때문이다. 만석상태가 되면 탑승률이 1이 되는 지점에서 좌석 확보 가능성은 사라지고 대신에 입석여부 더미가 작용하게 된다. 탑승률이 1 초과일 때 탑승률 증가에 따라 혼잡승수는 증가하며, 그 증가분은 차내 혼잡수준이 높아질수록 커지게 된다. 탑승률 증가에 따른 혼잡승수의 증가 형태는 탑승률이 1 이하일 때와 다르게 나타났다. 실제로 착석통행과 입석통행의 특성이 다르며, 착석이 가능할 때의 탑승률에 따른 혼잡과 착석이 불가능하여 입석일 때의 탑승률에 따른 혼잡이 의미하는 바가 같지 않다. 특히, 좌석을 확보하는 것이 불가능해지면서, 입석자체가 개별 통행자의 통행시간에 비효율을 발생시키기 때문에 착석이 가능할 때의 시간가치에 비해 높은 혼잡승수값을 나타내게 된다. 탑승률이 1이 되는 지점은 총 좌석수와 재차인원이 동일해지는 지점으로 착석통행과 입석통행의 분기점으로 작용하며, 입석여부 더미에 의해 분리된다. 따라서 입석승객이 발생한 이후의 탑승률에 따른 혼잡승수는 입석상태의 개별 통행자가 체감하는 입석으로 인한 불편과 입석 승객 간 혼잡으로 간주할 수 있다.



<Fig. 1> Crowding multiplier as function of the loadfactor

4. 적용방안

본 연구에서 추정한 차내 혼잡에 따른 혼잡승수 결과를 이용하여 차내 혼잡 감소 편익을 계량화하는 것이 가능할 것으로 예상된다. 즉, 사업 미시행 시와 시행 시의 차내 혼잡 비용을 각각 산출하여 발생한 차이가 차내 혼잡 감소 편익(The Valuation of In-vehicle Crowding Travel Time Savings : VOICTS)이라 할 수 있다.

$$VOICTS = VOICT_{\text{미시행}} - VOICT_{\text{시행}} \dots\dots\dots (7)$$

이때, 차내 혼잡 비용의 산정 시 관련 지침이나 연구 등에서 제시하고 있는 교통수단별 차내 통행시간 가치와 재차인원을 이용할 수 있다. 혼잡승수 단위당 시간가치를 산출하고, 실제의 탑승률에 기반의 혼잡승수와 차내 통행시간, 이용수요의 곱으로 산정한다. 단, 차내 혼잡 감소에 따른 순편익을 산정하기 위해서는 혼잡수준 감소로 인한 유발수요 또는 전환수요 등을 제외한 고정수요인 상태를 전제하여 산정하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

$$VOICT = VOT \times \frac{1}{CM} \times CM \times IVT \times Q \dots\dots\dots (8)$$

- VOT : Value of travel time for individual passenger using regional bus
- \overline{CM} : Planned Crowding multiplier for value of travel time
- CM : Crowding multiplier as function of the loadfactor
- IVT : In-vehicle travel time
- Q : Number of passengers

차내 혼잡수준을 감소시킬 수 있는 대표적인 방안으로 2층 버스 투입 방안을 고려할 수 있다. 현재 서울시를 포함한 경기도 광역버스의 운영효율화 방안으로 2층 버스 도입 및 노선개편 등이 시행되고 있으며, 2층 버스의 도입은 차내 혼잡에 대한 개선방안으로 제시되고 있다. 차내 혼잡 수준이 높은 광역버스 노선에 대해 2층 버스를 투입하여 운영하게 되면 기존의 일반버스 대신 2층 버스를 구입하게 되는 비용이 발생하게 된다. 버스운영자 입장에서 차량가격 및 운영비에 대한 손실을 오롯이 받아들이는 일은 쉽지 않다. 2층 버스 투입에 따라 발생하는 편익의 계량화가 가능해지면 차량의 비용부담 주체에 대한 문제(재정 부담과 운수업체 참여의 유도 등)를 해결할 수 있는 근거로 활용될 수 있다.

차량의 용량증대는 개별 통행자가 경험하는 차내 혼잡 수준에 직접적인 변화로 작용한다. 2층 버스의 용량은 일반버스의 약 1.5배 수준으로 투입 전·후의 이용객이 동일하다고 가정하였을 때 입석승객을 최소화할 수 있게 된다. 즉, 해당 광역버스를 이용하는 개별 통행자가 모두 앉아서 갈 수 있는 환경을 제공할 수 있어 쾌적성과 안전성 측면에서 효율적인 방안으로 작용할 수 있다. 차내 혼잡수준을 감소시키기 위한 방안으로 2층 버스를 도입하게 되면 차량의 총 좌석수, 탑승률, 탑승률에 따른 혼잡승수가 달라진다.

분석대상 노선인 1500번 버스의 평일 오후 침두시 평균 차내 통행시간, 이용수요, 운행대수를 기본 조건으로 하여 2층 버스 도입에 따른 차내 혼잡 감소 편익을 <Table 3>과 같이 산정할 수 있다. 만약 2층 버스 도입에 따라 총 좌석 수가 41개에서 70으로 증가하게 되면 탑승률이 1.63에서 0.96으로 감소하게 된다. 탑승률 감소에 따라 혼잡승수 또한 1.56에서 0.98로 감소하게 되어 차내 총 통행시간비용은 408,875천원에서 256,857천원으로 152,017천원의 편익이 발생하게 됨을 알 수 있다. 탑승률에 기반한 혼잡승수를 이용함으로써 차내 혼잡 감소에 따른 개별 통행자의 쾌적성 향상에 대한 계량화가 가능해진다. 따라서 2층 버스 도입뿐만 아니라 버스의 증차, 노선 개편, 신교통수단 도입 및 전환 등에 따른 차내 혼잡 감소 편익에 대한 산정이 가능할 것으로 예상된다. 단, 국내·외에서 대중교통 이용수요가 높아짐에 따라 버스의 증차, 노선 개편, 신교통수단 도입 및 전환 등의 대중교통 개선 사업이나 정책을 시행하고 있으나, 사업의 특성에 따라 유발수요와 전환수요로 인해 차내 혼잡의 개선효과가 상쇄되는 경우가 있어 편익의 적용에 유의할 필요가 있다.

<Table 3> The Valuation of In-vehicle Crowding Travel Time Savings for adopting double-decker bus

		Normal bus	Double-decker bus
Information of Bus	In-vehicle travel time(min)	41	41
	Number of Passengers (passenger/veh·hr)	67	67
	Number of Vehicles(veh/hr)	10	10
	Capacity of Vehicle (number of seats)	41	70
Consider Value of In-vehicle crowding	Loadfactor	1.63	0.96
	Crowding multiplier	1.56	0.98
	Total cost of crowding travel time(won)	408,875,969	256,857,980
	The valuation of In-vehicle crowding travel time savings (won)	152,017,988	

Source: Korea Transport Institute(2021), 『A Study on Standard Guidelines for Pre-feasibility Study on Road and Railway Projects』

V. 결 론

1. 연구결과

광역버스는 대도시권의 도시와 외곽을 연결하는 기능을 담당하는 대중교통수단으로 지역 간 교통수단과 도시 내 교통수단의 특성이 혼재되어 있다고 할 수 있다. 착석을 전제로 하고 있으나, 침두시의 이용수요가 높아 입석 승객이 상당히 많은 편이다. 본 연구에서는 광역버스의 수단특성을 고려하여 분석을 수행하였다. 대부분의 개별 통행자는 도시 내 통행에 비해 상대적으로 장거리 통행을 하게 된다. 좌석에 대한 확보가 가능한 상황이라면 입석통행보다는 착석통행에 대한 선호도가 매우 높을 것으로 예상할 수 있다. 좌석 확보에 대한 중요성과 필요성, 입석통행시 입석여부 자체가 발생시키는 비효율을 고려하여 입석여부 더미를 별도의 변수로 설정하였다. 입석여부가 결정되는 순간의 차내 혼잡수준은 매우 중요한 요소로 작용하게 되며, 탑승률 1 이하일 때와 1 초과일 때의 시간가치가 의미하는 바가 다를 것으로 판단하였다. 차내 혼잡수준에 따른 차내 시간가치의 관계에 대해 비선형일 수 있다는 점을 고려하여 모형을 구축하였다.

추정 결과, 차내 혼잡이 증가함에 따라 시간가치는 비선형으로 증가하는 것으로 나타났다. 탑승률이 1 이하일 때와 1 초과일 때의 차내 혼잡 증가에 따른 혼잡승수의 증가형태는 상이하게 나타났다. 특히, 탑승률 증가에 따라 혼잡승수가 비선형의 형태로 증가하며 이는 광역버스의 특성이 반영된 것으로 판단할 수 있다. 최적 모형의 설명변수들인 차내 통행시간, 탑승률, 입석여부더미의 부호가 모두 음(-)의 부호로 직관적인 상식과 일치하였으며, 각 변수들은 통계적 유의성을 확보하는 것으로 나타났다. 각 설명변수의 추정계수 값은 개별 통행자의 통행선택에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

수도권 대중교통 이용자의 주요 통행수단으로써 광역버스의 역할은 매우 중요하며, 수도권 광역버스의 혼잡문제가 지속적으로 제기되고 있다. 이에 따라서 광역버스의 차내 혼잡을 개선하기 위한 연구를 통해 이용자의 쾌적성 향상 방안을 모색할 필요성이 증가되고 있다. 하지만, 차내 혼잡이 갖는 중요성과 필요성에 대해서는 논란의 여지가 없음에도 불구하고 관련 정책이나 사업을 계획하는 경우 사업의 타당성을 판단하기 위한 계량화된 편익항목으로 반영되지 못하고 있는 실정이다. 최근 들어 지방자치단체에서 대중교통의 서비스 질을 향상시키기 위해서 저비용 고효율로 2층버스 도입이 있으나, 해당 사업에 지방재정을 투입하기 위한 평가나 심사의 명확한 기준이 없는 것이 대표적인 사례로 볼 수 있다.

현재 지방투자사업 타당성 조사의 방법론으로 2층버스 도입과 같은 사업을 분석할 경우 차내 혼잡 개선에 따른 편익에 대한 산정이 어렵기 때문에 이에 대한 지방재정의 투입 효과를 객관적으로 판단하는 것이 쉽지 않다. 하지만 본 연구의 차내 혼잡에 따른 시간가치를 활용하여 광역버스의 차내 혼잡 감소를 위한 개선방안(배차간격 축소, 버스용량 증대, 요금제 등)들의 효과를 정량적으로 검토할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 한계점 및 향후 연구과제

차내 혼잡에 따른 시간가치 추정에 관한 선행연구들의 대부분은 기존의 진술선호(SP) 조사 기반의 자료를 이용하고 있다. 조사 시, 연구자가 연구방향에 따라 설문을 설계할 수 있기 때문에 차내 혼잡에 따른 시간가치의 추정 결과에 대한 해석이 상대적으로 용이하다고 볼 수 있다. 이미 설문 설계 시 연구자가 개별 통행자의 통행행태에 영향을 미칠 것으로 판단한 요인들과 그 수준을 고려하여 선택대안에 포함시킬 수 있기 때문이다. 반면에, 본 연구는 스마트카드 자료 기반의 실증적인 연구로써 추정 결과의 신뢰도가 높다고 할 수 있으나, 스마트카드 자료를 통해 구득 가능한 자료의 종류와 형태에 한계가 있기 때문에 분석의 범위와 방법 등이 제

한적일 수 있다. 현시선호(RP) 자료는 자료 상에 개별 통행자의 통행선택에 영향을 미치는 사회·경제적 지표와 관련된 자료가 충분하지 않고, 이 외에도 통행목적, 통행빈도, 통행시간대 등에 대해 알 수 없다.

본 연구에서 이용한 개별 통행자의 통행선택의 경우에도 역방향 통행이 발생하는 노선과 구간에 대해서만 분석이 가능하였다. 분석노선을 이용하는 개별 통행자는 오후 침두시에 역방향 통행을 선택하는 것으로 나타났으며, 이에 차내 혼잡수준이 높은 오전 침두시 또는 기타 시간대의 차내 혼잡에 따른 시간가치에 대한 추정이 불가능하였다. 특히, 오전 침두시에는 주로 교외에서 도심방향의 이용수요가 높은 것으로 나타났으며, 주이용자의 통행목적은 출근 통행으로 추정된다. 이에 차내 혼잡수준이 높더라도 정해진 출근시간의 제약에 의해 입석 통행을 강행하거나, 승차시간대를 조정하여 역방향 통행자가 없었던 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 특정시간과 노선의 자료로 추정된 결과로 노선과 이용자의 특성을 고려하여 적용할 필요가 있으며, 모든 대중교통에 일반화하여 적용하는 것에는 한계점이 존재한다. 향후, 다양한 노선과 시간대에서의 자료들을 지속적으로 수집하고, 혼잡 가치와 관련된 추가적인 연구가 진행될 필요가 있다. 연속적인 연구가 이루어진다면 대중교통의 혼잡가치를 일반화하여 적용하는 것이 가능할 것으로 예상된다.

또한, 이와 같은 쾌적성에 대한 연구가 각 분야별로 추가적으로 이루어진다면, 현재 지방재정투자사업의 타당성 조사, 지방재정투자심사 등의 문화, 체육, 관광 등의 다양한 분야의 편익항목으로 적용 가능할 것으로 판단된다. 특히, 여러 지방재정투자사업 분석 시 이전수요에 대해서는 새로운 편익이 발생하지 않는 것으로 간주하고 있다. 이에 항상 논쟁이 되고 있는 지방재정투자사업에서 이전수요와 신규수요, 이전편익과 신규편익에 대한 문제를 해결하기 위한 방안으로도 쾌적성 편익이 활용될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

REFERENCES

- Batarce, M., Muñoz, J. C., Ortúzar, J., Raveau, S., Mojica, C. and Rios, R. A.(2015), “Use of mixed stated and revealed preference data for crowding valuation on public transport in Santiago, Chile”, *Transportation Research Board*, vol. 2535, no. 1, pp.73-78.
- Björklund, G. and Swärdh, J. E.(2017), “Estimating policy values for in-vehicle comfort and crowding reduction in local public transport”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 106, pp.453-472.
- Gyeonggi-do(2019), *Gyeonggi Resional bus government subsidy policy*.
- Korea Transport Institute(2015), *National transport survey and DB project*.
- Korea Transport Institute(2021a), *A Study on Standard Guidelines for Pre-feasibility Study on Road and Railway Projects*.
- Korea Transport Institute(2021b), *Improving an operation of metropolitan bus system: Focusing on government subsidy policy*, MP-21-09.
- Márquez, L., Julieth, V., Alfonso, A. and Juan, C. P.(2019), “In-vehicle crowding: Integrating tangible attributes, attitudes, and perceptions in a choice context between BRT and metro”, *Transportation Research Part A*, vol. 130, pp.452-465.
- Ryu, S. K., Han, S. W. and You, J. S.(2016), “Measuring Social Benefit of Mitigation of In-Vehicle Congestion Level in Intercity Buses”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 34, no. 6, pp.523-534.
- Tirachini, A., Hensher, D. A. and Rose, J. M.(2013), “Crowding in public transport systems: Effects

on users, operation and implications for the estimation of demand”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 53, pp.36-52.

Varghesea, V. and Adhvaryua, B.(2016), “Measuring overcrowding in Ahmedabad buses: Costs and policy implications”, *Transportation Research Procedia*, vol. 17, pp.145-154.

Yap, M., Cats, O. and Arem, B.(2018), “Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data”, *Transportmetrica A: Transport Science*, vol. 16, no. 1, pp.23-42.